

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS



TRABAJO DE GRADO

**MEJORA DE SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA, EN LAS COLONIAS
Y CASERÍOS DEL CANTÓN PORTEZUELO, SANTA ANA DEPARTAMENTO
DE SANTA ANA**

PRESENTADO POR:

ALBANES BONILLA, OSCAR MANUEL

ANDINO HERNÁNDEZ, DIMAS ADALBERTO

SAYES GONZÁLEZ, ROBERTO ENRIQUE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

TEMA:

**MEJORA DE SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA, EN LAS
COLONIAS Y CASERÍOS DEL CANTÓN PORTEZUELO, SANTA
ANA DEPARTAMENTO DE SANTA ANA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

DIMAS ADALBERTO ANDINO HERNÁNDEZ

OSCAR MANUEL ALBANES BONILLA

ROBERTO ENRIQUE SAYES GONZÁLEZ

DOCENTE ASESOR:

ING. MANUEL ALEJANDRO PACHECO ACOSTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2023

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

DOCENTE ASESOR:

ING. MANUEL ALEJANDRO PACHECO ACOSTA

AGRADECIMIENTOS

Como grupo agradecemos:

A Dios por permitirnos culminar esta etapa en nuestra vida, por la fortaleza que nos brindó durante toda la carrera, por la sabiduría que nos dio en los momentos que más la necesitamos y por todas las circunstancias que nos llevaron hasta aquí y cumplir una meta que sin Él hubiéramos podido alcanzar.

A nuestro asesor de tesis el Ing. Manuel Alejandro Pacheco Acosta, ya que fue nuestra guía durante todo el proyecto, impartiendo sus conocimientos, corrigiéndonos con una paciencia admirable, comprendiendo en todo momento las dificultades que se presentaron durante el desarrollo del proyecto, además de tener esa apertura a conocernos individualmente.

A todos los docentes que nos brindaron sus conocimientos en todas las asignaturas que nos impartieron durante todos los años que pasamos en nuestra Universidad.

A los señores administradores de la planta de potabilización del Cantón Portezuelo, ya que nos abrieron sus puertas y confiaron en nosotros, nos acompañaron en todo el proceso y que sin ellos todo el proyecto no estuviera completado. Como mención al señor presidente de la junta directiva que buscó la información solicitada y nos apoyó en todas las visitas que realizamos, nunca nos dejó solos y siempre fue abierto a escuchar sugerencias por lo cual solo podemos desearle bendiciones en todos los ámbitos de su vida.

Quiero aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han formado parte de mi vida académica y personal, y han dejado una huella indeleble en mi camino.

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, Cecilia Yaneth, por ser mi apoyo incondicional y mi fuente de inspiración. Tu amor, fortaleza y dedicación han sido fundamentales en mi crecimiento y desarrollo. Desde aquellos primeros días en la escuela, donde iba para no sentirme solo y aburrido, hasta este momento en el que estoy a punto de defender mi tesis, tú has estado a mi lado, animándome y creyendo en mí. Eres una madre de diez, y estoy profundamente agradecido por la presencia constante que has tenido en mi vida. Tu apoyo incondicional ha sido mi refugio en momentos difíciles, y valoro cada consejo sabio que me has brindado. Gracias, mamá, por ser mi mayor fan y por ser la luz que ilumina mi camino.

También quiero agradecer a mi asesor de tesis, Ing. Manuel Alejandro Pacheco Acosta, por su apoyo inquebrantable y su compromiso con nuestro proyecto. Gracias por llevarnos de la mano en este proceso de tesis, por brindarnos luces en la oscuridad y por estar ahí para nosotros a pesar del desvelo, la hora y los días de las reuniones. Tu experiencia y conocimientos han sido una guía invaluable, y valoro enormemente tu dedicación y paciencia para escucharnos y responder nuestras dudas. Tus consejos y sugerencias han enriquecido nuestro trabajo, y gracias a ti hemos alcanzado estándares más altos. Estoy profundamente agradecido por tu orientación experta y por compartir tu experiencia con nosotros.

Atesoro los momentos que he compartido con los compañeros que he conocido a lo largo de mi vida académica. Desde aquellos primeros días en la escuela, donde iba simplemente para no estar solo y aburrido, hasta este momento en el que me encuentro a punto de defender mi tesis, ha sido un camino lleno de encuentros significativos y experiencias enriquecedoras.

Es increíble cómo algo tan simple como preguntar algo sobre alguna materia a alguien de mi salón de clases puede llevarme a conocer a personas maravillosas y vivir tantas experiencias memorables. En cada nuevo año académico, tenía la oportunidad de conocer a nuevos compañeros, y poco a poco fuimos construyendo una red de amistades que ha dejado una huella profunda en mi vida.

Aunque las personas van y vienen, lo que se queda con nosotros son esos momentos que hemos compartido, esos instantes en los que se ha unido un pedacito de cada uno. Cada compañero de clase, cada docente, ha dejado una huella imborrable en mi vida, y estoy profundamente agradecido por la oportunidad de haberlos conocido.

Es en esos momentos compartidos donde he aprendido la importancia del trabajo en equipo, la colaboración y la empatía. He descubierto que el aprendizaje va más allá de los contenidos académicos, y se nutre de las experiencias y perspectivas que cada persona aporta a la mesa.

Agradezco a cada uno de mis compañeros y docentes por haber sido parte de mi vida académica. Vuestra compañía, vuestras enseñanzas y vuestra amistad han sido un regalo preciado en este camino. A través de vosotros, he crecido y evolucionado como estudiante y como persona, y me llevo conmigo los recuerdos y aprendizajes de cada uno de vosotros.

También quiero aprovechar este momento para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento por todo el apoyo, el cariño y el amor que han compartido conmigo a lo largo de nuestro tiempo juntos. Aunque nuestro camino haya sido breve, su presencia en mi vida ha dejado una huella imborrable en mi corazón.

Aunque nuestros caminos puedan tomar direcciones diferentes, siempre llevaré conmigo el amor y los recuerdos que hemos construido juntos. Nuestro tiempo compartido ha dejado una marca imborrable en mi ser, y siempre serán parte de quien soy.

En este momento de gratitud, quiero expresarles mi admiración y mi eterno agradecimiento. Han sido pilares en mi vida y su amor ha sido un regalo que nunca olvidaré. Que nuestras vidas sigan siendo bendecidas con felicidad, éxito y amor en cada uno de nuestros caminos.

Con gratitud y aprecio

Dimas Adalberto Andino Hernández

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para DIOS, mis padres, mi hermana, mi compañera de vida.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida; quiero ofrecer mis agradecimientos a:

- *Primero doy gracias a Dios por darme la voluntad, la fuerza de permitir terminar esta carrera, por permitirme tener tan buena experiencia dentro de la Universidad de El Salvador (UES), gracias a mi universidad por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona. Gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.*
- *Doy gracias a mi familia por ser mi principal apoyo en este proyecto, mi padre Manuel de Jesús Albanes, hermana Reina Nohemi Albanes de Santana y en especial a mi madre Juana Irma Bonilla de Albanes, luego de Dios es al ser que más me ha apoyado y me brindo su amor incondicional en todo momento; me dio todo y más para ver culminado mi sueño.*
- *Doy gracias a la Universidad, por contar con los mejores profesores que un estudiante puede tener.*
- *Doy gracias a los docentes y en especial al Ing. Manuel Alejandro Pacheco, que nos apoyó desde el inicio en este trabajo de grado.*
- *Doy gracias a mis compañeros de tesis que junto a ellos pudimos sacar adelante este bello trabajo.*

A mi pareja Bianca Stephannie Valencia, por su amor incondicional, su paciencia y comprensión en todo momento a pesar de mis ausencias y distracciones; a su familia por

abrirme las puertas de su casa y apoyarme en este largo camino académico que hoy veo terminado y no podría presentar mi proyecto de grado sin ofrecerles mi gratitud.

Oscar Manuel Albanes Bonilla

Llegando a esta etapa de mi vida veo hacia atrás y me pregunto ¿cómo aquel niño hiperactivo, platicón, que solo deseaba salir a jugar fútbol con sus amigos, que le daba “canas verdes” a sus profesoras en el colegio, avanzó hasta llegar a ser Ingeniero Químico?

Aquí, mientras escribo esto, me doy cuenta de lo especial que fueron cada uno de esos momentos, me digo: no lo lograste solo, este logro es de todas aquellas personas que te colaboraron, confiaron y apoyaron en el camino. No podré mencionar a todos, pero cada uno de fue, es y será parte de este logro. Por lo que agradezco:

Dios por no abandonarme, por apoyarme en momentos difíciles, por darme la oportunidad de alcanzar este logro, sé que en tu presencia este no será el único.

A mis padres: Cecilia de Sayes y Mario Sayes. Los pilares de mi vida, sin su esfuerzo, apoyo y guía no hubiera sido capaz de llegar hasta donde he llegado, como persona y profesional son mi ejemplo a seguir. Aprovecho estas líneas para recordarles que LOS AMO.

A mis hermanas: María y Adriana, por su apoyo y sacrificio en el tiempo que estuve lejos de casa, por recibirme y escucharme en momentos difíciles, son de las mujeres que más amo en esta vida y siempre estaré ahí para apoyarlas en todo momento.

A mi tía Ana: la cual considero como mi segunda madre, en todos mis recuerdos de niñez se encuentra presente, por lo cual tiene un lugar en mi corazón.

A mis tíos: Salvador, Marlene Miguel, María y Mirna; todos han tenido distintas muestras de aprecio hacia mi persona, son parte de trayecto y quiero que sepan que cada uno de ustedes son especiales en mi vida.

A mis primos: Miguel, Alejandra, Juana, Ana, Susana, Mario, Sofía, Gabriela, Geovanni que han sido parte de mi vida desde que tengo memoria y de verdad quiero que sepan que ustedes tienen una parte en mi corazón.

A mis abuelitos: Juana, Roberto y Lita, este triunfo es para ustedes también, hasta el cielo les mando esta dedicatoria.

A todos los que han sido parte de mi formación educativa: profesor Oscar y la profesora Marina (que en paz descanse), en el Colegio Fátima, al profesor Ángel en el Com. Edu. Gerardo Barrios, a la Ing. Delmy Rico y mi asesor Ing. Manuel Pacheco, ambos de la UES; todos apoyando y brindando sus conocimientos y guías en mi formación como futuro profesional.

A personas que la palabra amigos se queda corta: Bryan Solorzano, Gabriel Alemán, Omar García, Emilia Nájera, Gabriela Orellana, Hazel Martínez, Andrea Solano, Gabriela Calderón; forman parte de las personas a las cuales les guardo un gran aprecio.

A mis amigos considerados mis hermanos: Dimas Andino, Oscar Bonilla, Jairo López, Mario Rodríguez, Daniel Lima, Alex Mata; ustedes han sido compañeros en muchas asignaturas y el haberlos conocido y formar esos lazos de amistad han sido una gran bendición.

A mis ex patronas Marta de Lemus y Alfredo Lemus que con su apoyo brindándome trabajo, enseñándome el sentido de la responsabilidad y el esfuerzo, así como la recompensa que este proporciona; sin su apoyo no podría haber logrado este avance en mi vida.

A todos los que no alcancé a mencionar, pero estuvieron en el proceso de formación tanto académica como personal, les deseo muchas bendiciones en sus vidas.

Con gratitud

Roberto Enrique Sayes González

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la supervivencia de los seres vivos y el desarrollo de sociedades humanas, el agua se encuentra en todos ámbitos de la vida terrestre, todos los seres vivos dependen del agua para existir, no es de asombrarse que en todas las etapas de desarrollo humano el agua siempre ha estado y estará presente. El agua es un recurso que ha jugado un papel muy importante en el desarrollo de las sociedades a nivel mundial. El agua potable o también conocida como agua para el consumo humano es toda aquella que cumple con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y radiológicos que puede ser utilizada para uso doméstico, consumo, higiene personal y que esta no represente ningún riesgo para la salud. En El Salvador, tener acceso al agua potable es un problema que aqueja a muchos sectores de la sociedad. En el país muchas personas habitan en zonas rurales en las cuales el acceso a agua de calidad es limitado, otras no tienen tan siquiera acceso a esta y por la necesidad tienen que desplazarse kilómetros a ríos, pozos, nacimientos, etc.

En el Cantón El Portezuelo, el agua se extrae de dos pozos, uno de los cuales está por secarse. El único tratamiento proporcionado al agua del pozo es la cloración, la falta de estudios de calidad en más de 30 años ha suscitado preocupaciones de infecciones por *Helicobacter Pylori* relacionadas con la calidad del agua. El proyecto busca mejorar esta situación crítica al diagnosticar y mejorar la calidad del agua suministrada.

Como objetivo se tiene diagnosticar la calidad del agua del sistema de abastecimiento según los estándares de calidad establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD” (RTS 13.02.01:14).

El estudio implicó muestreos, análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en diferentes puntos del sistema de abastecimiento. Los resultados se compararon con los límites máximos permitidos según el RTS 13.02.01:14. Se evaluó la uniformidad de los resultados con el uso de media aritmética y desviación estándar, con los resultados se identificaron oportunidades de mejora para el sistema de abastecimiento.

Los resultados de los análisis detallados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el Cantón El Portezuelo indican uniformidad en general, a excepción de las concentraciones de cloro residual libre. La cisterna, tanque y grifo fueron evaluados, mostrando coherencia en los valores, excepto en el cloro residual libre, que tuvo mayor dispersión. La concentración media de cloro residual libre fue de 0.77 ppm, desviación estándar de 0.24 ppm. La cisterna presentó la concentración más alta de cloro residual libre (1.1 ppm), que disminuyó a 0.6 ppm en tanque y grifo debido a la reacción del cloro con microorganismos y dilución.

La comparación con límites permitidos (Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14) mostró cumplimiento en todos los parámetros analizados. Recomendaciones para fortalecer la planta de potabilización incluyen medidores de caudal, monitoreo constante y capacitación del personal para optimizar la calidad. Aunque no se confirmó *Helicobacter Pylori*, se sugiere estudio específico debido a las sospechas del Ministerio de Salud de El Salvador.

Se identificaron oportunidades de mejora en la planta de potabilización que permitieron la formulación de acciones que consisten en la instalación de medidores de caudal ya que la planta no los posee o no funcionan como mínimo se debe instalar uno en la salida del tanque de almacenamiento pero esto queda en las manos de la junta administrativa; la implementación de un programa de monitoreo regular de los parámetros de control para garantizar que no existan cambios en las características del agua y que faciliten la identificación temprana de cualquier contaminación y el desarrollo de un plan de capacitación para el personal encargado de la planta de potabilización sobre mantenimiento preventivo de equipos y el marco legal que se debe cumplir para el correcto funcionamiento de la planta, tanto a nivel de inocuidad y calidad del agua como operativos.

La investigación contribuye a la tranquilidad de los habitantes al confirmar la calidad del agua suministrada. Además, promueve un suministro sostenible y seguro de agua potable en la zona. Se establece una relación de colaboración entre la junta administradora y la comunidad para implementar las acciones de mejora. El Ministerio de Salud respaldó la calidad del agua, permitiendo reducir la frecuencia de los estudios.

La mejora del sistema de potabilización de agua en el Cantón El Portezuelo es esencial para garantizar la calidad y seguridad del agua suministrada a la población. El estudio y las acciones de mejora propuestas permiten abordar las preocupaciones de los habitantes y promover un acceso sostenible a agua potable de calidad. La colaboración entre la junta administradora, la comunidad y las autoridades es clave para lograr un suministro confiable y seguro a largo plazo.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1. Planteamiento del Problema	3
1.1 Preguntas de Investigación	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Alcances y Limitaciones.....	5
1.3.1 Alcances.....	5
1.3.2 Limitaciones	5
1.4 Justificación	6
Capítulo 2. Marco Teórico.....	8
2.1 Agua y Aspectos Históricos.....	8
2.2 Generalidades del Agua.....	8
2.2.1 Composición y Estructura.....	10
2.2.2 Propiedades Químicas y Fisicoquímicas del Agua.....	11
2.2.2.1 Características Físicas del Agua.....	11
2.2.2.2 Características Químicas Del Agua	12
2.2.3 Importancia de las Propiedades Físicas y Químicas del Agua	12
2.3 Fuentes y Ciclo Hidrológico del Agua	12

2.3.1.1 Etapas del ciclo del agua	14
2.3.2 Características Físicas, Químicas y Bacteriológicas de las Aguas Naturales.....	17
2.3.2.1 Características Físicas	18
2.3.2.2 Características Químicas	19
2.3.2.3 Características Biológicas	24
2.4 Agua Potable.....	29
2.4.1 Contaminantes en el Agua Potable.....	29
2.4.1.1 Enfermedades Causadas por Contaminantes en el Agua Potable.	30
2.4.1.2 Parámetros Microbiológicos	39
2.4.2 Equipos para Potabilización	61
2.4.2.1 Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano.	61
2.4.3 Estadísticas en El Salvador	70
2.4.4 Marco Legal.....	71
2.4.4.1 Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad.	72
Capítulo 3. Metodología de Trabajo.....	79
3.1 Tipo de Estudio.....	79
3.2 Descripción de la Planta Potabilizadora	79
3.2.1 Pozo 1	80
3.2.2 Pozo 2	82

3.2.3 Punto de Cloración.....	83
3.2.4 Cisterna	84
3.2.5 Tanque de Almacenamiento	86
3.3 Trabajo de Campo.....	88
3.3.1 Número de Muestras a Tomar	89
3.3.2 Selección de los Puntos de Muestreo.....	90
3.3.3 Plan de Muestreo	93
3.3.3.1 Chequeo de Materiales y Equipo	93
3.3.3.2 Acondicionamiento de los Puntos de Muestreo	93
3.3.3.3 Toma de Muestras.....	94
3.3.3.4 Parámetros In-Situ.....	94
3.3.3.5 Coordinación para Transporte.....	97
Capítulo 4. Presentación de Resultados.....	101
Capítulo 5. Análisis de Resultados	103
5.1 Cálculos	103
5.1.1 Cálculos estadísticos	103
5.1.1.1 Media aritmética.....	104
5.1.1.2 Desviación estándar	104
5.1.1.3 Coeficiente de variación.....	105

5.1.2 Porcentaje de alejamiento del parámetro respecto a los límites máximos permisibles.	106
5.1.2.1 Ejemplo de cálculo.....	106
5.1.3 Porcentaje de variación in-situ vs parámetro de laboratorio	106
5.1.3.1 Ejemplo de cálculo	107
5.2 Análisis de parámetros medidos	107
5.2.1 Parámetros fisicoquímicos.....	107
5.2.1.1 pH	107
5.2.1.2 Sólidos Totales Disueltos.....	108
5.2.1.3 Nitratos.....	109
5.2.1.4 Turbidez.....	110
5.2.1.5 Dureza total	111
5.2.1.6 Hierro Total.....	112
5.2.1.7 Manganeso Total	113
5.2.1.8 Sulfatos.....	114
5.2.1.9 Nitritos.....	115
5.2.1.10 Cloro Residual.....	116
5.2.1.11 Cromo hexavalente.....	118
5.2.1.12 Cloruros.....	118
5.2.1.13 Plomo	118

5.2.1.14 Cadmio	118
5.2.1.15 Cobre	118
5.2.1.16 Color aparente	119
5.2.1.17 Sodio	119
5.2.1.18 Zinc	119
5.2.2 Parámetros microbiológicos	119
5.2.2.1 Bacterias coliformes totales	119
5.2.2.2 Bacterias coliformes fecales	119
5.2.2.3 Escherichia coli	119
5.2.2.4 Conteo Total de Bacterias	120
5.2.2.5 Pseudomonas aeruginosa	120
5.3 Plan de mejora en la planta potabilizadora del Cantón Portezuelo	121
5.3.1 Identificación de problemas existentes y oportunidades de mejora.....	121
5.3.2 Prioridades	121
5.3.3 Objetivos y metas	122
5.3.4 Soluciones a los problemas principales	122
5.3.5 Ejecución de las soluciones a los problemas principales.....	122
5.3.5.1 Instalación de medidores de caudal en las salidas de los pozos y en la salida del tanque	123

5.3.5.2 Implementación de un programa de monitoreo regular de los parámetros de calidad del agua en diferentes puntos del sistema de tratamiento.....	124
5.3.5.3 Desarrollo del plan de capacitación para el personal encargado de la planta.....	126
5.3.5.4 Establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo	128
Conclusiones.....	130
Bibliografía.....	134
Anexos	136
Anexo A Muestreo en Cisterna de las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana.....	136
Anexo B Muestreo en Tanque de Almacenamiento de las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana	139
Anexo C Muestreo en grifo de las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana.....	142
Anexo D Bitácora de Monitoreo de Parámetros.....	146
Anexo E Resumen de Datos Estadísticos y Comparativa con RTS 13.02.01:14	147
Anexo F Hojas de resultados de Análisis Químicos de Muestras de Agua Tomadas en las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana.....	150

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Estructura Molecular del Agua	10
Ilustración 2-2 Ciclo Hidrológico del Agua	13
Ilustración 2-3 Parámetros exigidos por el RTS 13.02.01:14	75
Ilustración 3-1 Diagrama de flujo de planta potabilizadora	80
Ilustración 3-2 Manómetro instalado en el pozo 1	81
Ilustración 3-3 Salida de bomba del pozo 1	81
Ilustración 3-4 Salida de bomba en pozo 2.....	82
Ilustración 3-5 Dosificador de pastilla de $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$	83
Ilustración 3-6 Tabletas de $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$	84
Ilustración 3-7 Interior de cisterna.....	85
Ilustración 3-8 Vista de bomba 3 en el interior de la cisterna	85
Ilustración 3-9 Parte superior del tanque de almacenamiento	86
Ilustración 3-10 Lateral del tanque de almacenamiento.....	87
Ilustración 3-11 Interior del tanque de almacenamiento	87
Ilustración 3-12 Ubicación de cantón Portezuelo.....	92
Ilustración 3-13 Ubicación de puntos de muestreo	93
Ilustración 3-14 Termómetro digital.....	95
Ilustración 3-15 Tiras indicadoras de pH	96
Ilustración 3-16 Comparador cromático.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos para agua de consumo humano.....	73
Tabla 2-2 Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos para agua de consumo humano.....	73
Tabla 2-3 Número de muestras para análisis básico.....	76
Tabla 2-4 Distribución de parámetros para cada uno de los análisis.....	77
Tabla 3-1 Distribución de análisis en los puntos de muestreo	91
Tabla 3-2 Verificación de materiales y equipo utilizados en el muestreo.....	98
Tabla 3-3 Hoja de chequeo de equipo de seguridad.....	99
Tabla 3-4 Hoja de información básica de muestras.....	100
Tabla 4-1 Parámetros medidos in-situ	101
Tabla 4-2 Valores de parámetros enviados a análisis en laboratorio acreditado.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5-1 Variación de pH en las Etapas del Proceso	108
Gráfica 5-2 Variación de Sólidos Totales Disueltos en las Etapas del Proceso	109
Gráfica 5-3 Variación de Nitratos en las Etapas del Proceso	110
Gráfica 5-4 Variación de Turbidez en las Etapas del Proceso	111
Gráfica 5-5 Variación de Dureza Total en las Etapas del Proceso	112
Gráfica 5-6 Variación de Hierro Total en las Etapas del Proceso	113
Gráfica 5-7 Variación de Manganeso Total en las Etapas del Proceso	114
Gráfica 5-8 Variación de Sulfato en las Etapas del Proceso	115
Gráfica 5-9 Variación de Nitritos en las Etapas del Proceso.....	116
Gráfica 5-10 Variación de Cloro Residual en las Etapas del Proceso.....	117

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para la supervivencia de los seres vivos y el desarrollo de las sociedades humanas. En el mundo, cerca del 71% de la superficie terrestre está cubierta de agua, sin embargo, solo el 3% de este recurso es dulce y se encuentra disponible para el consumo humano. En este contexto, es crucial garantizar que el agua potable que se suministra a la población sea segura y cumpla con los estándares de calidad establecidos por las normativas nacionales e internacionales.

La falta de acceso a agua potable de calidad es un problema en muchas zonas rurales de El Salvador. En particular, en el Cantón El Portezuelo, ubicado en el municipio y departamento de Santa Ana, el agua se extrae de dos pozos, de los cuales uno está por secarse. Además, el agua solamente se somete a un tratamiento de desinfección por cloro y no cuentan con estudios microbiológicos ni fisicoquímicos en más de 30 años. El Ministerio de Salud y Asistencia Social (MINSAL) por medio de una unidad de salud que atiende a habitantes del cantón ha reportado múltiples casos de infecciones por *Helicobacter pylori*, una bacteria que puede causar problemas graves de salud; el MINSAL sospecha que esto se deba a la calidad del agua suministrada a la población. En este contexto, se plantea el tema de la mejora del sistema de potabilización del agua en las colonias y caseríos del Cantón El Portezuelo, con el objetivo de realizar un diagnóstico actual de la calidad del agua del sistema de abastecimiento de agua potable, basado en los requisitos de calidad e inocuidad del RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.””.

Se procedió a evaluar la calidad del agua potable suministrada por la planta potabilizadora en el cantón, a través del estudio de diversos parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Para ello, se realizaron muestreos de agua en diferentes puntos del sistema de abastecimiento y se llevaron a cabo análisis de laboratorio siguiendo los métodos estandarizados.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema, se establecen las preguntas de investigación, los objetivos, alcances y limitaciones, así como la justificación de la investigación. En el segundo capítulo, se explica el marco teórico que sustenta la investigación, incluyendo aspectos históricos, generales y específicos del agua, su ciclo hidrológico, fuentes de suministro y características de agua potable, el marco legal relacionado a la calidad del

agua potable en El Salvador. El tercer capítulo se centra en la metodología de trabajo empleada, incluyendo la descripción de la planta potabilizadora, el plan de muestreo, los equipos y materiales utilizados, el laboratorio donde se realizaron los análisis y los procedimientos utilizados en la toma de muestras en el Cantón Portezuelo. En el cuarto capítulo se presentan los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estudiados, además las medidas de los parámetros in situ, en el quinto capítulo se realiza el análisis de los resultados y se presenta el plan de mejora. En el sexto capítulo se presentan las conclusiones del estudio Finalmente, en los anexos se incluyen tablas resúmenes de resultados obtenidos y fotografías relacionadas al proceso de muestreo.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Preguntas de Investigación

A.¿Cuál es la calidad actual del agua suministrada por el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del Cantón El Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana, basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”?

A.¿Cuáles son los valores actuales de los parámetros para determinar la calidad del agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”?

B. ¿Existen oportunidades de mejora relacionadas con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”?

C. ¿Se pueden realizar acciones de mejora relacionadas con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”?

B.¿Es posible crear un plan de mejora relacionado con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar diagnóstico actual de calidad de agua del sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar la calidad del agua en el sistema de abastecimiento de agua potable del sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”.
- II. Identificar oportunidades de mejora relacionadas con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”.
- III. Formular acciones de mejora relacionadas con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”.
- IV. Diseñar un plan de mejora relacionado con la calidad de agua en el sistema de abastecimiento de agua de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, municipio y departamento de Santa Ana basado en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”.

1.3 Alcances y Limitaciones

1.3.1 Alcances

- I. Se espera contribuir con la mejora de la calidad del agua distribuida por la Junta de Agua a los habitantes del cantón Portezuelo, con estudios fisicoquímicos y biológicos para realizar un diagnóstico.
- II. Se pretende desarrollar un plan de mejora en la operación de la planta potabilizadora para mejorar la eficiencia y calidad de agua suministrada.
- III. Se busca cumplir con los requisitos mínimos que el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD” exige.

1.3.2 Limitaciones

- I. No se estudiarán alternativas en la mejora de la producción del agua, ya que esto involucraría un estudio distinto al de la calidad del agua.
- II. Las medidas a tomar serán adaptadas a la economía de la comunidad y de los estudiantes; el plan de mejora no se aplicará en su totalidad durante el desarrollo del proyecto a causa de los altos costos que este pueda incurrir.
- III. Los estudios de agua serán los básicos y trazas de algunos metales, un estudio intermedio y completo se plantearán en el plan, pero se realizarán por la Junta de Agua sin la intervención de los estudiantes.

1.4 Justificación

En El Salvador, tener acceso al agua potable es un problema que aqueja a muchos sectores de la sociedad. En el país muchas personas habitan en zonas rurales en las cuales el acceso a agua de calidad es limitado, otras no tienen tan siquiera acceso a esta y por la necesidad tienen que desplazarse kilómetros a ríos, pozos, nacimientos, etc. Estas aguas tienen poco o nulo tratamiento y mucho menos análisis para determinar si la calidad es óptima para el consumo humano.

En el Cantón El Portezuelo, departamento y municipio de Santa Ana, el agua es llevada de 2 pozos ubicados en este mismo, aunque según los directivos la mayoría del agua que se obtiene de un solo pozo (pozo 2), ya que el pozo 1 está por secarse debido a que este ha sido el primero en perforarse. En entrevista con una vocal de la Junta de Agua, informo que de parte del Ministerio de Salud y Asistencia Social (MINSAL) por medio de la Unidad de Salud Santa Lucía reportan múltiples reportes de infecciones por *Helicobacter Pylori* (*H. pylori*) provocando en su mayoría casos de gastritis, pero es conocida por ser una bacteria que puede provocar problemas más grandes en la salud, como úlceras gástricas y cáncer de estómago o duodenal. Los médicos cuestionan la calidad del agua, ya que no hay estudios microbiológicos ni fisicoquímicos desde el funcionamiento del proyecto (más de 30 años).

También se agrega que en una inspección rutinaria el MINSAL les ha solicitado realizar los estudios biológicos y fisicoquímicos, además de medidas de seguridad ocupacional y capacitaciones a los operarios abarcados en el desarrollo de un PSA (Plan de Seguridad del Agua), ya que de no cumplirse la administración dejará de ser de la Junta de Agua.

En lo que se ha podido conocer el único tratamiento desinfectante del agua es la cloración, pero no se puede comprobar su eficacia ya que no hay estudios que permitan valorar la calidad del agua, el pozo 2 lleva el agua a una cisterna donde los sólidos como arena proveniente del pozo precipita (por gravedad), luego otra bomba transporta el agua a un tanque en la cima de una colina en la colonia A (perteneciente al cantón), luego de llenarse este tanque el agua (por gravedad) se distribuye a ciertas colonias y caseríos, cada sector recibe agua cada 5 días.

La UES (Universidad de El Salvador) como una institución con compromiso social en la formación de profesionales con valores éticos y con responsabilidad a la sociedad, permite el desarrollo de trabajos de investigación que aporten a resolver problemas con aspectos sociales y esta problemática es una oportunidad de beneficiar a los habitantes de estas comunidades, mejorando la calidad de agua que se les suministra. Desarrollar un plan para afinar la operatividad de la planta, así mismo colaborar con los requisitos mínimos que debe cumplirse, basándose en el RTS 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD”, y así mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón. Por lo antes descrito, es evidente la necesidad de estudios en la calidad de agua, mejora en las medidas de seguridad y capacitar a los operarios para mejorar el servicio que se brinda a los habitantes del cantón.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua y Aspectos Históricos

El agua es un recurso que ha jugado un papel muy importante en el desarrollo de las sociedades a nivel mundial. En un artículo web publicado por Fundación AQUAE (s.f.) se resumen como distintas sociedades a nivel mundial han aprovechado el agua iniciando con los sumerios. Los egipcios se asentaron a las orillas del río Nilo, haciendo canales que les permitían aprovechar el agua, así utilizarla para cultivos y consumo. Los romanos fabricaron muchos instrumentos que aun en la actualidad son utilizados como Cisternas, alcantarillado, tuberías, grifos, etc. Por otra parte, los musulmanes sintetizaron las ideas de los romanos, griegos, babilónicos y de otros pueblos del medio oriente; tales ideas permitieron desarrollar sistemas de abastecimiento y técnicas de riego. El agua se encuentra en todos ámbitos de la vida terrestre, todos los seres vivos dependen del agua para existir, no es de asombrarse que en todas las etapas de desarrollo humano el agua siempre ha estado y estará presente.

La gestión adecuada de este recurso es importante ya que de esta depende muchas vidas humanas, según una noticia publicada por la ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2006) en su portal web oficial cerca de 4500 niños mueren diariamente por falta de agua o saneamiento, por lo que la potabilización del agua es muy importante para proteger la vida de miles personas.

2.2 Generalidades del Agua

La palabra agua proviene del latín *aqua* del mismo significado, según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española es definida como: “Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos. (Fórm. H_2O)” (Real Academia Española, 2023).

El agua, un compuesto extraordinariamente simple, es sin embargo una sustancia de propiedades tan excepcionales y únicas que sin ella sería imposible la vida. El hombre tiene necesidad de agua para realizar sus funciones vitales, para preparar y cocinar los alimentos, para

la higiene y los usos domésticos, para regar los campos, para la industria, para las centrales de energía: en una palabra, para vivir.

El agua es un verdadero nutriente que debe formar parte de la dieta en cantidades mucho mayores que las de cualquier otro nutriente. Existen organismos capaces de vivir sin luz, incluso sin oxígeno, pero ninguno puede vivir sin agua. Tal y como escribió (Hildreth, 1979) "Un hombre puede vivir días sin comer, pero sólo unos 2-5 días sin agua". Podemos perder casi toda la grasa y casi la mitad de la proteína de nuestro cuerpo y seguimos vivos, pero la pérdida de tan sólo un 1-2% del agua corporal afecta a la termorregulación y a los sistemas cardiovascular y respiratorio y limita notablemente la capacidad física y mental; una hipohidratación mayor puede tener consecuencias fatales (Grandjean, Reimers, & Buyckx, 2003).

Además, tampoco se debe perder de vista que en la naturaleza no se encuentra nunca el agua de los químicos, es decir, el agua pura, inodora, incolora e insípida. El agua de los ríos, el agua subterránea, el agua de lluvia y el agua que bebemos contiene siempre otras sustancias disueltas que, aún en cantidades reducidas, aportan cualidades organolépticas y nutritivas por lo que el agua también debe considerarse un alimento (Carbajal Azcona y González Fernández, 2003).

Conocida la dependencia que los seres vivos tienen del agua y la importancia que ha tenido en la Historia de la Humanidad, cabe preguntarse qué es lo que hace de ella una sustancia tan especial y tan diferente de otras. El "secreto" de sus excepcionales características está precisamente en su composición y estructura, que le confieren el mayor número de propiedades físicas y químicas "anómalas" entre las sustancias comunes, y esta "personalidad" es la responsable de su esencialidad en la homeostasis, estructura y función de las células y tejidos del organismo. Cuando se compara con moléculas de similar peso molecular y composición, el agua tiene propiedades físicas únicas, consecuencia de su naturaleza polar y de su capacidad para formar enlaces por puente de hidrógeno con otras moléculas (Pierce, 1993).

2.2.1 Composición y Estructura

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos, atrae hacia sí los electrones de ambos enlaces covalentes, de manera que alrededor del átomo de oxígeno se concentra la mayor densidad electrónica (carga negativa) y cerca de los hidrógenos la menor (carga positiva). La molécula tiene una geometría angular (los dos átomos de hidrógeno forman un ángulo de unos 105°) (Ilustración 2-1) lo que hace de ella una molécula polar que puede unirse a otras muchas sustancias polares (Carbajal Azcona y González Fernández, 2003).

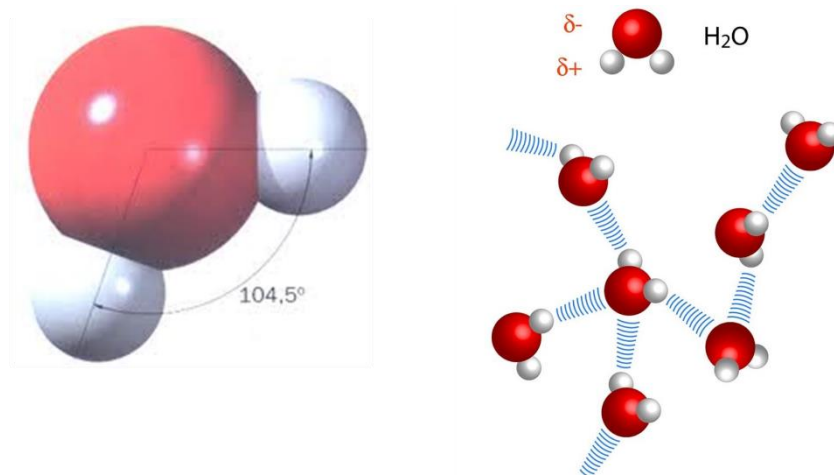


Ilustración 2-1 Estructura Molecular del Agua

Nota. 2015. Geometriaestrella (<https://bit.ly/3qef2EW>); PuenteH (<https://bit.ly/3BfUUZh>)

La atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno de una molécula de agua y la carga parcial negativa cercana al oxígeno de otra, permite la unión de moléculas de agua vecinas mediante un enlace químico muy especial y de excepcional importancia para la vida y que explica el amplio abanico de sus propiedades físicas y químicas: el puente de hidrógeno.

Esta atracción es fuerte porque las moléculas de agua, siendo pequeñas, pueden acercarse mucho más que moléculas mayores y quedan firmemente atraídas por su gran polaridad. La

energía de un puente de hidrógeno agua-agua es de unas 5,5 kcal/mol; además, hay que tener en cuenta las interacciones de Van Der Waals entre moléculas próximas. Por consiguiente, es difícil que se separen y así se evita que escapen como vapor. Esto hace que el agua posea una gran cohesividad intermolecular, condicionando su alto punto ebullición, de fusión y elevado calor específico.

Los puentes de hidrógeno son esenciales para la vida pues no sólo confieren una resistencia estructural al agua sino también a otras muchas moléculas. Por ejemplo, juegan un papel crucial en la estructura del ADN, uniendo las bases nitrogenadas y, en las proteínas, permiten los cambios reversibles que hacen posible sus funciones (Brenes y Rojas, 2005).

2.2.2 Propiedades Químicas y Fisicoquímicas del Agua.

El agua posee curiosas propiedades que la caracterizan de cualquier otro líquido inorgánico, a continuación, se mencionan algunas de estas:

2.2.2.1 Características Físicas del Agua (Chang y A. Goldsby, 2013).

- a) Su densidad es de 1g/cm^3 a 4°C .
- b) Amplio margen de temperaturas en fase líquida ($0\text{-}100^\circ\text{C}$): su punto de congelación es a 0°C , mientras que el de ebullición es a 100°C a nivel del mar.
- c) Elevada constante dieléctrica: permite la disociación de la mayoría de las sales inorgánicas en su seno y permite que las disoluciones puedan conducir la electricidad.
- d) Calor específico y calor de vaporización elevados: esto hace que el calor liberado en reacciones bioquímicas exotérmicas sea fácilmente absorbido y/o eliminado con pequeña variación de la temperatura del individuo.

2.2.2.2 Características Químicas Del Agua (Chang y A. Goldsby, 2013).

- a) La molécula del agua tiene carga eléctrica positiva en un lado y negativa en el otro, propiedad que ocasiona que sus moléculas se unan entre sí.
- b) Tienen un carácter dipolar: las moléculas de agua se orientan en torno a las partículas polares o iónicas, formando una envoltura de solvatación. Esto se traduce en una modificación de las propiedades de estas partículas.
- c) Contiene minerales y nutrientes de gran valor.
- d) El agua pura tiene un pH neutro de 7: esto significa que no es ácida ni básica.
- e) Reacciona con los óxidos ácidos, los óxidos básicos y el metal.
- f) Cuando se une el agua y las sales, se forman los hidratos.

2.2.3 Importancia de las Propiedades Físicas y Químicas del Agua

El agua disuelve muchas sustancias y las retiene, aunque varíe la temperatura. Su capacidad de disolver los nutrientes del suelo es fundamental para que las plantas puedan absorberlos por sus raíces. Además, la propiedad de disolver sustancias y mantenerlas, permite que algunos procesos metabólicos de los organismos vivos se mantengan estables a pesar de las oscilaciones térmicas.

Plantas y animales equilibran su temperatura mediante la transpiración, es decir, utilizando la propiedad del agua de transformarse en vapor absorbiendo calor. Además, actúa como vehículo para que los animales se desprendan, a través del sudor y la orina, de sustancias que al acumularse serían perjudiciales para el organismo

Es un importante medio de intercambio de la energía. Cuando se evapora o condensa, gran cantidad de energía es utilizada o liberada.

2.3 Fuentes y Ciclo Hidrológico del Agua

El sol, que dirige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, la cual se evapora hacia el aire como vapor de agua. Corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de nube colisionan, crecen y caen en forma de precipitación. Parte de esta

precipitación cae en forma de nieve, y se acumula en capas de hielo y en los glaciares, los cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años. En los climas más cálidos, la nieve acumulada se funde y derrite cuando llega la primavera. La nieve derretida corre sobre la superficie del terreno como agua de deshielo y a veces provoca inundaciones. La mayor parte de la precipitación cae en los océanos o sobre la tierra, donde, debido a la gravedad, corre sobre la superficie como escorrentía superficial.

Una parte de esta escorrentía alcanza los ríos en las depresiones del terreno; en la corriente de los ríos el agua se transporta de vuelta a los océanos. El agua de escorrentía y el agua subterránea que brota hacia la superficie, se acumula y almacena en los lagos de agua dulce. No toda el agua de lluvia fluye hacia los ríos, una gran parte es absorbida por el suelo como infiltración. Parte de esta agua permanece en las capas superiores del suelo, y vuelve a los cuerpos de agua y a los océanos como descarga de agua subterránea. Otra parte del agua subterránea encuentra aperturas en la superficie terrestre y emerge como manantiales de agua dulce. Otra parte del agua infiltrada alcanza las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos (roca subsuperficial saturada), la representación del ciclo hidrológico se muestra en la Ilustración 2-2.



Ilustración 2-2 Ciclo Hidrológico del Agua

Nota. USGS, 2019, USGS (<https://on.doi.gov/3TJyhnl>)

2.3.1.1 Etapas del ciclo del agua

El U.S. Geological Survey (USGS) ha identificado en el ciclo del agua 15 componentes:

- a) Evaporación
- b) Agua en la atmósfera
- c) Condensación
- d) Precipitación
- e) Agua almacenada en los hielos y la nieve
- f) Agua de deshielo
- g) Escorrentía superficial
- h) Corriente de agua
- i) Agua dulce almacenada
- j) Infiltración
- k) Descarga de agua subterránea
- l) Manantiales
- m) Transpiración
- n) Agua subterránea almacenada

- a) Evaporación

La evaporación es el principal proceso mediante el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso. La evaporación es el proceso por la cual el agua líquida de los océanos ingresa a la atmósfera, en forma de vapor, regresando al ciclo del agua. La mayor parte del agua que se evapora de los océanos, cae de vuelta sobre los mismos como precipitación. Solamente un 10 por ciento del agua evaporada desde los océanos, es transportada hacia tierra firme y cae como precipitación. Una vez evaporada, una molécula de agua permanece alrededor de diez días en el aire.

b) Almacenamiento de agua en la atmósfera

Es el agua almacenada en la atmósfera como vapor, en forma de humedad y nube. Si bien la atmósfera no es un importante almacenador de agua, es una vía rápida que el agua utiliza para moverse por el globo terráqueo.

c) Condensación

La condensación es el proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. La condensación es importante para el ciclo del agua ya que forma las nubes. Estas nubes pueden producir precipitación, la cual es la principal forma que el agua regresa a la Tierra.

d) Precipitación

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia.

e) Agua Almacenada en los hielos y la nieve

El agua que es almacenada por largos períodos de tiempo en el hielo, la nieve o los glaciares, también forma parte del ciclo del agua. La mayor parte de la masa de hielo de la Tierra, alrededor del 90 por ciento, se encuentra en la Antártida, mientras que el 10 por ciento restante se encuentra en Groenlandia.

f) El Agua de Deshielo

La escorrentía producida por el derretimiento de la nieve es una parte importante del movimiento del agua en la Tierra.

g) La escorrentía superficial

La lluvia cae sobre la tierra, fluye sobre ella (escorrentía de lluvia), y corre hacia los ríos, los cuales se descargan a los océanos. Esto es algo simplificado, ya que los ríos también ganan y pierden agua a través del suelo. Sin embargo, la mayor parte del agua de los ríos proviene directamente de la escorrentía que fluye por la superficie, denominada escorrentía superficial.

Generalmente, parte de la lluvia que cae es absorbida por el suelo, pero cuando la lluvia cae sobre suelo saturado o impermeable comienza a correr sobre el suelo, siguiendo la pendiente del mismo. En este caso, la escorrentía corre sobre suelo desnudo, arrastrando consigo gran cantidad de sedimento que es depositado en el río (esto es malo para la calidad del agua).

h) Corriente de Agua

El U.S. Geological Survey utiliza el término "corriente de agua" para referirse a la cantidad de agua que corre en un río, arroyo o cañada.

i) Almacenamiento de Agua Dulce

Una parte del ciclo del agua que obviamente es esencial para la vida en la Tierra, es el agua dulce superficial. El agua superficial incluye los arroyos, estanques, lagos, reservorios (lagos creados por el hombre), y humedales de agua dulce. El agua que entra proviene de las precipitaciones, de la escorrentía superficial, del agua subterránea que se filtra hacia la superficie, y de los ríos tributarios.

j) Infiltración

Parte del agua que se infiltra, permanece en las capas más superficiales del suelo y puede volver a entrar a un curso de agua debido a que se filtra hacia el mismo. Otra parte del agua puede infiltrarse a mayor profundidad, recargando así los acuíferos subterráneos. Si los acuíferos son lo suficientemente porosos y poco profundos como para permitir que el agua se mueva libremente a través de ellos, la gente puede realizar perforaciones en el suelo y utilizar el agua para satisfacer sus necesidades. El agua puede viajar largas distancias, o permanecer por largos períodos como agua subterránea antes de retornar a la superficie, o filtrarse hacia otros cuerpos de agua, como arroyos u océanos.

k) Agua subsuperficial

A medida que el agua se infiltra en el suelo subsuperficial, generalmente forma una zona no-saturada y otra saturada. En la zona de no-saturación, hay algo de agua presente en las aperturas del material subsuperficial, pero el suelo no se encuentra saturado. La parte superior de la zona no-saturada es la zona del suelo. La zona del suelo presenta espacios creados por las raíces de las plantas que permite que la precipitación se infiltre dentro del suelo. Por

debajo de la zona no-saturada, se encuentra una zona saturada, donde el agua ocupa por completo los espacios que se encuentran entre las partículas del suelo y las rocas. Las personas pueden realizar perforaciones para extraer el agua que se encuentra en esta zona.

l) Descarga de Agua Subterránea

El agua que existe y se mueve dentro del suelo. Las personas han utilizado el agua subterránea por cientos de años y lo continúan haciendo hasta el día de hoy, principalmente para beber y para riego. La vida en la Tierra depende del agua subterránea como también depende del agua superficial.

m) Agua subterránea almacenada

Grandes cantidades de agua son almacenadas en el suelo. El agua se sigue moviendo, aunque de manera muy lenta, y sigue siendo parte del ciclo del agua. La mayor parte del agua del suelo proviene del agua de lluvia que se infiltra a través de la superficie del suelo. La capa superior del suelo, es la zona no-saturada, donde las cantidades de agua varían con el tiempo, pero no alcanzan a saturar el suelo. Por debajo de esta capa, se encuentra la zona de saturación, donde todos los poros, grietas y espacios entre las partículas de roca se encuentran llenos de agua. Otro término para el agua subterránea es "acuífero". Los acuíferos, son los grandes almacenes de agua en la Tierra y muchas personas alrededor de todo el mundo dependen del agua subterránea en su diario vivir.

2.3.2 Características Físicas, Químicas y Bacteriológicas de las Aguas Naturales

El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo (Orellana, 2005).

Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla para hacerla adecuada para su uso como provisión a la población. El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para ciertos procesos

industriales, y al mismo tiempo perfectamente idónea para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades que se transmiten por el agua la hacen peligrosa para el consumo humano. Las aguas subterráneas de áreas con piedra caliza pueden tener un alto contenido de bicarbonatos de calcio (dureza) y requieren procesos de ablandamiento previo a su uso.

De acuerdo al uso que se le dará al agua, son los requisitos de calidad de la misma. Por lo común la calidad se juzga como el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales. Es importante conocer los requisitos de calidad para casa uso a fin de determinar si se requiere tratamiento y qué procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad también se usan para vigilar los procesos de tratamiento y corregirlos de ser necesario.

El agua se evaluará en cuanto a su calidad ensayando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Es necesario que los ensayos que evalúan dichos parámetros de calidad, deben tener aceptación universal a fin de que sean posibles las comparaciones con los estándares de calidad.

2.3.2.1 Características Físicas

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismo se hacen

con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana.

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitario y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua.

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1.000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10.000 unidades. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba. Los resultados se comparan luego con los que se obtienen de una suspensión estándar.

2.3.2.2 Características Químicas

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración.

Las aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y también forma incrustaciones en tuberías de agua caliente y calderas. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro.

Recordemos que el agua químicamente pura es la combinación de oxígeno e hidrógeno y puede obtenerse en laboratorios por el fenómeno de electrólisis y en la naturaleza durante las tormentas eléctricas.

Se muestran a continuación los elementos químicos que se encuentran en el agua natural y que producen alcalinidad, dureza y salinidad y se divide en cuatro grupos:

Grupo 1: Producen solo alcalinidad

- a) Carbonato de potasio - K_2CO_3
- b) Bicarbonato de Potasio - $KHCO_3$
- c) Bicarbonato de Sodio - $NaHCO_3$
- d) Carbonato de Sodio - Na_2CO_3

Grupo 2: Producen dureza carbonatada y alcalinidad

- a) Carbonato de Calcio - $CaCO_3$
- b) Carbonato de Magnesio - $MgCO_3$
- c) Bicarbonato de Calcio – $Ca(HCO_3)_2$
- d) Bicarbonato de Magnesio – $Mg(HCO_3)_2$

Grupo 3: Producen salinidad y dureza no carbonatada

- a) Sulfato de Calcio – $CaSO_4$
- b) Cloruro de Calcio – $CaCl_2$
- c) Nitrato de Calcio – $Ca(NO_3)_2$
- d) Sulfato de Magnesio – $MgSO_4$
- e) Cloruro de Magnesio – $MgCl_2$
- f) Nitrato de Magnesio – $Mg(NO_3)_2$

Grupo 4: Producen salinidad, pero no dureza

- a) Sulfato de Potasio – K_2SO_4
- b) Cloruro de Potasio – KCl
- c) Nitrato de Potasio – KNO_3
- d) Sulfato de Sodio – Na_2SO_4
- e) Cloruro de Sodio – $NaCl$
- f) Nitrato de Sodio – $NaNO_3$

Las sustancias que producen acidez al agua, pueden provenir de volcamientos, pero también son frecuentes en el tratamiento de aguas y estos son:

- a) Ácido Sulfúrico – H_2SO_4
- b) Sulfato Ferroso – $FeSO_4$
- c) Sulfato de Aluminio – $Al_2(SO_4)_2$

Las aguas pueden contener además otras sustancias que generan molestias o trastornos al organismo, dichas sustancias son:

- i. Fenol:** En las fuentes de abastecimiento de agua solo se lo encuentra como proveniente de residuos industriales vertidos al agua. Una pequeña concentración en presencia de cloro produce un gusto muy desagradable
- ii. Arsénico:** Suele encontrarse en pequeñas cantidades salvo alguna excepción y se aumenta cuando existen vertidos de residuos industriales o por arrastre con aguas de lluvia del arseniato de plomo que se usa en desinfección de árboles frutales.
- iii. Selenio:** Normalmente se presencia no es significativa en los servicios de agua

superficiales, pero suele encontrarse con mayor frecuencia en los abastecimientos de aguas subterráneas, y depende naturalmente de la composición del suelo de donde se extrae el agua.

iv. Cromo hexavalente: No está presente en las aguas naturales, se agrega como consecuencia de los vertidos industriales y en dosis importantes puede irritar las mucosas del sistema digestivo

v. Plomo: Prácticamente no existe en las aguas naturales superficiales, pudiendo detectarse su presencia en aguas subterráneas que proceden de suelos que contengan el mineral galeno. Su presencia en aguas superficiales generalmente proviene es consecuencia de vertidos industriales. El aumento de sales de plomo en el agua puede producir envenenamiento crónico o agudo.

vi. Hierro: No produce trastornos en la salud en las proporciones en que se lo encuentra en las aguas naturales. Mayores concentraciones originan coloración rojiza en el agua y mancha la ropa blanca. También puede provenir de residuos industriales en forma de sales ferrosas y férricas.

vii. Manganeso: De forma similar al hierro no es problema para la salud. En combinación con el plomo puede colorear la ropa blanca. En las plantas de agua potable y en especial en los filtros de agua y conductos de distribución favorece el desarrollo de ciertos microorganismos.

viii. Flúor: Procede de cenizas y rocas de formación ígnea. Se demostró que en concentraciones excesivas produce fluorosis, sin embargo, en pequeñas cantidades favorece y fortalece la dentición de los niños hasta los 9 años, la dosis que produce ese efecto benéfico está entre los 1,5 y 6 ppm, los efectos tóxicos ocurren con grandes concentraciones. Una dosis de 230 mg es muy

tóxica y es mortal en los 4.000 mg por litro.

- ix. Cobre:** En forma natural solo se encuentran indicios de la presencia del cobre y en el agua potable puede existir debido a la corrosión de las cañerías o accesorios de cobre o bronce, también el sulfato de cobre (CuSO_4) que se aplica para controlar las algas en las plantas de potabilización. La presencia de cobre en aguas naturales no acarrea problemas de salud y en las concentraciones que pueden ser tóxicas, adquiere un sabor muy desagradable que la hacen imbebible.
- x. Zinc:** De forma similar al cobre solo hay indicios en las aguas naturales. En el agua potable proviene de la corrosión de las tuberías de hierro galvanizado o bronce. El exceso produce rechazo por el sabor desagradable.
- xi. Magnesio:** Es uno de los minerales que junto con el calcio produce la dureza del agua. En cantidades importantes puede producir efectos laxantes.
- xii. Cloruro:** En el agua potable, su presencia se debe al agregado de cloro en las plantas potabilizadoras como desinfectante. En altas concentraciones y en combinación con otras sales producen sabores desagradables.
- xiii. Sulfatos:** El radical sulfato tiene importancia cuando va asociado a aguas muy mineralizadas ya que produce un efecto laxante.
- xiv. Calcio:** Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud.
- xv. Yodo:** El agua natural contiene cantidades insignificantes. Su ausencia tiene significación en la enfermedad llamada bocio. Se estima que normalmente se deben ingerir 0,05 a 0,10 mg de yodo por día.

xvi. Nitratos: Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años. Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados.

2.3.2.3 Características Biológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de lalluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementas y por lo tanto los peces de idéntica manera.

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada.

Sin embargo, para que el agua se destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

De toda la población biológica de las aguas naturales vamos a indicar aquellas que tienen significación en la Ingeniería Sanitaria y en especial a la potabilización de aguas.

Del reino vegetal, los microorganismos más importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Sanitaria son las algas y bacterias, aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.

i. Algas: Las algas contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de agua superficiales. Las algas a menudo tienen pigmentos de colores que nos permite agruparlas en familias:

a) Clorofíceas: Como su nombre lo indica son de color verde. Algunas de ellas son de los géneros Eudorina, Pandorina y Volvox. Existen especies unicelulares y multicelulares y en grandes concentraciones, algunas de ellas generan olores ícticos (de pescado o pasto) al agua y toma una coloración verdosa.

b) Cianofíceas: También son mono o multicelulares, son las algas azul verdosas. Algunas de ellas comunican al agua olores muy desagradables y suelen desarrollarse con tal abundancia que cubre los embalses con una nata, siendo la más característica de ella el género Anabaena.

c) Bacilariofíceas o diatomeas: Generalmente se presentan como monocelulares, son de color amarillo verdoso y a menudo dan olores aromáticos o ícticos. Son típicos los géneros Asterionella, Navículo, Sybedra y Fragilaria.

ii. Bacterias: Las llamadas bacterias son de los géneros *Sphaerotilus* y *Crenothrix*, relacionadas con el hierro y el manganeso del agua y del género *Beggiatoa* del grupo de las bacterias sulfurosas. Las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero veremos aquí las que son patógenas para el hombre, las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal. Recordemos que según necesiten o no oxígeno libre para vivir se las llama aerobias o anaerobias, existe un tercer tipo que se desarrolla mejor en presencia de oxígeno, pero pueden vivir en medios desprovistos del mismo y se las denomina anaerobias facultativas.

a) Bacterias propias del agua: Son frecuentes las de género *Pseudomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium* y *Achromobacterium*, en general dan coloración al agua como, por ejemplo, rojo, amarillo anaranjado, violeta, etc.

b) Bacterias del suelo: Son arrastradas por el agua de lluvia a los cursos superficiales en gran mayoría son aerobias, pertenecientes al género *Bacillus* y otras que tienen un papel preponderante en la oxidación de materia orgánica y sales minerales.

c) Bacterias intestinales: Los organismos más comunes que se encuentran en el tracto intestinal son de los géneros *Clostridium*, *Streptococos*, *Salmonella*, *Espirilos*, *Bacteriófagos*, *Coliformes*, *Shigelia* y también merecen citarse las *Vibrio cholerae* y la *Leptospira*.

- iii. **Hongos, mohos y levaduras:** Pertenecen al grupo de bacterias, pero no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición.

Del reino animal nos encontramos los siguientes, que tienen importancia significativa:

- i. **Protozoarios:** De todos los que pueden encontrarse en el agua, el más importante por su toxicidad es la Endamoeba histolytica que produce la disentería amibiana.
- ii. **Moluscos:** Son importantes el género de caracoles ya que son huéspedes intermedios de los gusanos de la clase Trematoda del grupo Platelmintos.
- iii. **Artrópodos:** Los que son importantes son las clases Crustácea, Insecta y Arácnida y desde el punto de vista sanitario el crustáceo del agua Cyclops que es vector del gusano Nematelminto.
- iv. **Platelmintos:** El más importante es el Equinococcus granulosus que produce la enfermedad llamada hidatidosis.
- v. **Helmintos:** se incluyen los anélidos y los traquelmitos que comprenden los rotíferos y los Nematelmintos entre los cuales hay varias especies patógenas para el hombre: Dracunculus mendinensis, Ascaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Enterovius vermicularis, Necator americanus y Ancylostoma duodenale.

Por último, un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan libremente en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, el cual tiene importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua.

2.4 Agua Potable

El agua potable o también conocida como agua para el consumo humano es toda aquella que cumple con los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y radiológicos que puede ser utilizada para uso doméstico, consumo, higiene personal y que esta no represente ningún riesgo para la salud (Gobierno de El Salvador, 2018).

El agua que se obtiene de una fuente de abastecimiento; entiéndase como fuente de abastecimiento al agua de origen natural de donde se obtienen los caudales para abastecer a la población (Gobierno de El Salvador, 2018). En la mayoría de las ocasiones el agua de una fuente de abastecimiento no es apta para el consumo humano de forma directa y esta debe de pasar por un tratamiento que garantice la eliminación de cualquier contaminante o patógeno que afecte en la salud de los consumidores. Para realizar un tratamiento efectivo es importante conocer las características físicas, químicas y biológicas de las aguas de las fuentes de abastecimiento, esto debido a que cada fuente de abastecimiento es particular y posee características únicas.

2.4.1 Contaminantes en el Agua Potable

Una parte fundamental de la investigación es el ámbito de salud, por lo cual es sumamente importante el caracterizar la calidad del sistema y el agua potable distribuida a los habitantes de las colonias y caseríos del cantón Portezuelo, esto basado en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, ya que en El Salvador es el instrumento normativo que presenta los valores máximos permisibles de estricto cumplimiento para tener una calidad suficiente para ser catalogada como agua apta para consumo humano.

Las sustancias o componentes que afectan las características organolépticas del agua o la salud de los consumidores, se entenderán como contaminantes del agua, estos pueden llegar a causar incomodidades leves (color turbio, mal olor, mal sabor) hasta afecciones graves en los consumidores como diarreas, infecciones bacterianas, víricas, fúngicas, distintos tipos de cáncer, metales pesados en sangre, entre muchas otras; por lo que conocer el impacto en la salud de los distintos contaminantes es de suma importancia.

2.4.1.1 Enfermedades Causadas por Contaminantes en el Agua Potable.

En este apartado se presentan una lista de parámetros que se estudiarán en la investigación, la elección de estos se justificará en el capítulo 3. Los parámetros mostrados a continuación muestran sus características y su impacto en la salud de los consumidores:

I. Parámetros Fisicoquímicos.

- a) **Manganeso:** Es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre y su presencia suele estar asociada a la del hierro. El manganeso está presente de forma natural en muchas fuentes de agua superficial y subterránea, sobre todo en condiciones anaerobias o de microoxidación.

No representa una preocupación para la salud en los niveles que suelen causar problemas de aceptabilidad en el agua potable. Sin embargo, hay circunstancias en las que el manganeso puede permanecer en solución en concentraciones más altas en algunas aguas ácidas o anaerobias, especialmente en las aguas subterránea (Organización Mundial de la Salud, 2018). El consumo extremadamente alto de magnesio puede provocar un ritmo cardíaco irregular y paro cardíaco. (Cares, 2022)

- b) **Nitrato y nitrito III:** El nitrato (NO_3^-) se encuentra de forma natural en el medio ambiente y es un importante nutriente para las plantas. Está presente en concentraciones variables en todas las plantas y forma parte del ciclo del nitrógeno. El nitrito también puede formarse químicamente en las tuberías de distribución por la bacteria *Nitrosomonas* durante el estancamiento en tuberías de acero galvanizado de agua potable que contiene nitratos y es pobre en oxígeno, o si se usa cloramina para proporcionar un desinfectante residual. El exceso de amoníaco

libre que ingresa al sistema de distribución puede conducir a la nitrificación y al aumento potencial de nitrato y nitrito en el agua potable. El nitrato puede llegar tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas debido a la actividad agrícola (incluida la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados inorgánicos y estiércol), a la disposición de aguas residuales y a la oxidación de desechos nitrogenados en excretas humanas y de animales, incluido el contenido de los tanques sépticos. El nitrato también puede llegar ocasionalmente a las aguas subterráneas debido a la vegetación natural. Las concentraciones de nitratos en el agua superficial pueden cambiar rápidamente por la escorrentía superficial de fertilizantes, la absorción de fitoplancton y la desnitrificación por bacterias, pero las concentraciones en el agua subterránea generalmente muestran cambios relativamente lentos. El nitrato y el nitrito también pueden producirse como resultado de la nitrificación en la fuente de agua o en los sistemas de distribución. En algunas circunstancias, sin embargo, el agua potable puede representar una contribución significativa de nitrato y, ocasionalmente, de nitrito (Organización Mundial de la Salud, 2018). Las consecuencias más representativas se dan contra la metahemoglobinemia (es una forma de hemoglobina que no puede transportar oxígeno, de manera que no llega suficiente oxígeno a los tejidos) y los efectos en la tiroides a la subpoblación más sensible (Cares, 2022).

- c) **pH:** Aunque no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operacionales más importantes de la calidad del agua. El pH aceptable para agua potable varía entre 6.5 a 8.5 como valor guía, para las aguas de consumo humano, los valores extremos pueden causar irritación en las mucosas,

irritación en órganos internos y hasta procesos de ulceración (Organización Mundial de la Salud, 2018).

- d) Sólidos Disueltos Totales (SDT):** Comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo humano provienen de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de SDT en el agua de consumo humano. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Los niveles que se encuentran en el agua de consumo humano no representan un problema de salud. Pero los altos niveles de sólidos disueltos en el agua potable pueden afectar a su sabor y hacer que sepa amarga o salada (Organización Mundial de la Salud, 2018).

- e) Sulfatos:** Se vierten al agua procedente de efluentes industriales y mediante deposición atmosférica, estos también pueden tener procedencia relacionada a la agricultura, como fertilizantes; no obstante, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales. En general, la ingesta diaria promedio de sulfato procedente del agua de consumo humano, el aire y los alimentos es de aproximadamente 500 mg, siendo los alimentos la principal fuente. Sin embargo, en regiones donde los sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano tienen concentraciones altas de sulfato, el agua de

consumo humano puede ser la principal fuente de ingesta. Los niveles que se encuentran en el agua de consumo humano no representan un problema de salud. Pero la presencia del ion sulfato en el agua causa un sabor muy apreciable, que afecta las características organolépticas de ella; además, niveles muy altos, en el orden de los miles de miligramos, provocan un efecto laxante en los consumidores.

- f) **Plomo:** Rara vez está presente en el agua del grifo como resultado de su disolución de fuentes naturales; su presencia se debe principalmente a los efectos del agua corrosiva en sistemas domiciliarios que usan tuberías, soldaduras o accesorios que contienen plomo (incluidos accesorios con aleaciones que tienen alto contenido de plomo) o en las conexiones de servicio a los hogares. La cantidad de plomo disuelto en el sistema de plomería depende de varios factores, incluidos el pH, la temperatura, la alcalinidad, la extensión de las tuberías y el tiempo de permanencia del agua; las aguas blandas y ácidas son las que disuelven más plomo. Los residuos de cloro libre en el agua potable tienden a formar depósitos que contienen plomo más insoluble, mientras que los residuos de cloramina pueden formar depósitos más solubles en la tubería de plomo (Organización Mundial de la Salud, 2018).

El valor de referencia que se designa como provisional sobre la base de la eficacia del tratamiento y la capacidad analítica es 0.01 mg/L (10 µg/L). Como ya no se trata de un valor de referencia basado en la salud, las concentraciones deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente práctico. Puede causar daño al cerebro y a los riñones y puede interferir con la producción de los glóbulos rojos que llevan el oxígeno a todas las partes del cuerpo. También causa anemia,

hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad en los órganos reproductores (Cares, 2022).

- g) Hierro:** Es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0.5 a 50 mg/l. También puede haber hierro en el agua de consumo humano, debido al uso de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro fundido en las redes de distribución del agua. El caso de consumo continuado de agua con concentraciones elevadas de hierro se han dado casos de hemocromatosis, una enfermedad que causa fatiga, debilidad y en casos graves, ictericia, dolor articular y de pecho y arritmias (Organización Mundial de la Salud, 2018).
- h) Dureza:** En el agua se produce por una variedad de iones metálicos polivalentes disueltos, predominantemente cationes de calcio y magnesio. Por lo general, se expresa en miligramos de carbonato de calcio por litro. La dureza es la medida tradicional de la capacidad del agua para reaccionar con el jabón; el agua dura requiere considerablemente más jabón para producir espuma. Los niveles que se encuentran en el agua de consumo humano no representan un problema de salud, siempre y cuando no exceda su límite permitido de 500mg/L (Organización Mundial de la Salud, 2018).
- i) Cobre:** El valor de referencia correspondiente al cobre se basa también en la exposición a corto plazo, pero su finalidad es proteger contra la irritación gástrica directa, un fenómeno que depende de la concentración. El valor de referencia puede superarse, pero cuanto más aumente la concentración por encima del valor de referencia más aumentará el riesgo de que los consumidores padezcan irritación gastrointestinal. Puede evaluarse la incidencia de este tipo de irritación

en poblaciones expuestas. En estos casos, la exposición a corto plazo (de unos meses a un año) a concentraciones hasta 10 veces mayores que el valor de referencia 2 mg/L, sólo aumentaría levemente el riesgo estimado de cáncer. Sin embargo, se deberá procurar determinar si adquieren importancia otros criterios de valoración toxicológicos más importantes para la exposición a corto plazo, como la neurotoxicidad. Ingerir una gran cantidad de cobre, generalmente en el agua potable, puede causar vómitos, náuseas, dolor abdominal o diarrea intensa (Organización Mundial de la Salud, 2018).

- j) Color:** Idealmente, el agua de uso y consumo humano no debe tener ningún color visible. Por lo general, el color en el agua de uso y consumo humano se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, ya sea como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con efluentes industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial. La mayoría de las personas puede percibir niveles de color por encima de 15 unidades de color aparente (UCV) en un vaso de agua. Los consumidores suelen considerar aceptables niveles de color por debajo de 15 UVC. Un nivel de color alto proveniente del carbono orgánico natural (p. ej., ácidos húmicos) también podría indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección. No se propone

ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el color en el agua de uso y consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2018)

k) Cromo: 0.05 mg/l (50 µg/l) para el cromo total El valor de referencia se designa como provisional debido a incertidumbres en la base de datos toxicológica. En un estudio de carcinogenicidad de largo plazo se les suministró cromo (III) por la vía oral no se observó ningún aumento de la incidencia de tumores. Sin embargo, existen pruebas de que la relación dosis-respuesta con dosis bajas no es lineal, porque el cromo (VI) se reduce a cromo (III) en el estómago y en el tracto gastrointestinal. En estudios epidemiológicos se ha encontrado una asociación entre la exposición por inhalación al cromo (VI) y el cáncer de pulmón. El CIIC ha clasificado al cromo (VI) en el Grupo 1 (cancerígeno para el ser humano) y al cromo (III) en el Grupo 3 (no clasificable respecto a su carcinogenicidad en humanos). (Organización Mundial de la Salud, 2018)

l) Cadmio: Se libera al ambiente en las aguas residuales, y los fertilizantes y la contaminación aérea local producen contaminación difusa. También las impurezas provenientes de las soldaduras que contienen cinc y las tuberías galvanizadas y algunos accesorios metálicos de gasfitería pueden contaminar el agua de consumo humano. La principal fuente de exposición diaria al cadmio son los alimentos. La ingesta oral diaria es de 10 a 35 µg El cadmio se acumula principalmente en los riñones y su vida media biológica en el ser humano es prolongada, de 10 a 35 años. Hay pruebas de que el cadmio es cancerígeno por inhalación y el CIIC ha clasificado el cadmio y los compuestos de cadmio en el Grupo 2A (probablemente cancerígeno para los humanos). (Organización Mundial de la Salud, 2018) No obstante, no hay pruebas de que sea cancerígeno

por la vía oral ni pruebas concluyentes de su genotoxicidad. La toxicidad del cadmio afecta principalmente al riñón. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

m) Turbidez Expresada generalmente como unidades nefelométricas de turbidez (UNT), describe la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión (por ej., arcilla y sedimentos), precipitados químicos (por ej., manganeso y hierro), partículas orgánicas (por ej., desechos vegetales) y organismos. La turbidez puede ser causada por la mala calidad del agua de la fuente, el tratamiento deficiente y, en los sistemas de distribución, por la alteración de sedimentos y biopelículas o el ingreso de agua sucia a través de roturas de tuberías principales y otras fallas. El aumento de la turbidez reduce la claridad del agua al limitar la transmisión de la luz. Debajo de 4 UNT, la turbidez se puede detectar solo con instrumentos, pero con 4 UNT o más, puede verse una suspensión de color blanco lechoso, barroso, rojo-marrón o negra. Los grandes sistemas de agua municipales deben producir consistentemente agua sin turbidez visible (y deben ser capaces de alcanzar 0,5 UNT antes de la desinfección en todo momento y un promedio de 0,2 UNT o menos). Sin embargo, los pequeños suministros, en particular aquellos con recursos limitados, puede que no logren alcanzar esos niveles. La turbidez visible reduce la aceptabilidad del agua potable. Si bien la mayoría de las partículas que contribuyen a la turbidez no tienen importancia para la salud (aunque pueden indicar la presencia de contaminantes químicos y microbianos peligrosos), muchos consumidores asocian la turbidez con la seguridad y consideran que el agua turbia no es segura para beber. Esta respuesta se exagera cuando los consumidores están acostumbrados a recibir agua filtrada de alta calidad (Organización Mundial de la Salud, 2018).

n) Cloro residual libre: Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración de cloro residual libre ≥ 0.5 mg/l después de un tiempo de contacto de al menos 30 min a pH < 8.0 . El cloro residual se debe mantener en todo el sistema de distribución. En el punto de entrega, la concentración mínima del cloro residual debe ser 0.2 mg/l. Las concentraciones deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente práctico, sin interferir la desinfección adecuada. Aunque en algunas circunstancias puede obtenerse un valor basado en la salud de 0.3 mg/L, puede que no sea posible desinfectar adecuadamente el agua potable y mantener concentraciones de clorato iguales o inferiores al valor basado en la salud, ya que el clorato es un subproducto del hipoclorito. Por lo tanto, se mantienen los valores de referencia provisionales anteriores. Incluso estos valores de referencia provisional pueden ser superados cuando se utiliza hipoclorito con largo tiempo de almacenamiento, pero las dificultades para cumplir el valor de referencia nunca deben ser una razón para comprometer una desinfección suficiente. La exposición a niveles bajos de cloro puede producir irritación de la nariz, la garganta y los ojos. La exposición a niveles más altos puede producir tos y alteraciones del ritmo respiratorio y daño de los pulmones (Organización Mundial de la Salud, 2018).

2.4.1.2 Parámetros Microbiológicos

Cuando se produce la contaminación por agentes patógenos entéricos o sustancias químicas peligrosas en el sistema de distribución, es probable que los consumidores terminen expuestos. En el caso del ingreso de agentes patógenos, incluso cuando se emplean desinfectantes residuales para limitar la presencia microbiológica, estos pueden ser inadecuados para reducir la contaminación o pueden ser ineficaces contra algunos o todos los tipos de agentes patógenos introducidos. Como resultado, los agentes patógenos pueden estar presentes en concentraciones que podrían producir infección y enfermedad. Cuando el suministro de agua es intermitente, la consiguiente presión baja del agua permitirá el ingreso de agua contaminada al sistema a través de roturas, grietas, juntas y pequeños agujeros. El suministro intermitente no es deseable, pero es muy común y con frecuencia está asociado a la contaminación del agua. El control de la calidad del agua en sistemas de suministro intermitente representa un reto significativo, puesto que aumentan significativamente los riesgos de infiltración y reflujo.

Es necesario validar los procesos de tratamiento para comprobar que dichos procesos pueden operar según lo requerido y reducir los factores de peligro a los niveles requeridos. En el caso de peligros microbiológicos, estos niveles requeridos comúnmente adoptan la forma de metas relacionadas con la eficacia y se basan en el uso de agentes patógenos.

El mayor riesgo para la salud proviene de agentes patógenos fecales transmitidos por el agua como resultado de un saneamiento inadecuado, la deficiente higiene y protección de las fuentes de agua de consumo humano.

I. Agentes Patógenos de Referencia (Organización Mundial de la Salud, 2018).

No es práctico ni hay datos suficientes para establecer metas relacionadas con la eficacia respecto a todos los agentes patógenos que potencialmente se transmiten por el agua, incluye bacterias, virus, protozoos y helmintos. Un abordaje más práctico es identificar organismos patógenos de referencia que representan a grupos de agentes patógenos, teniendo en cuenta las variaciones de las características, comportamientos y susceptibilidades de cada grupo a los diferentes procesos de tratamiento. Por lo general, se identificarán diferentes agentes patógenos de referencia para representar a las bacterias, virus, protozoos y helmintos. Los criterios para seleccionar a los agentes patógenos de referencia incluyen los siguientes elementos:

- a) La transmisión por el agua establecida como una vía de infección.
- b) Suficientes datos disponibles para permitir que se realice la Evaluación Cuantitativa de Riesgo Microbiológico (ECRM), incluidos los datos sobre la relación dosis-respuesta en los seres humanos y la carga de morbilidad.
- c) Ocurrencia en las fuentes de agua.
- d) Persistencia en el ambiente.
- e) Sensibilidad a la eliminación o inactivación mediante procesos de tratamiento.
- f) Infectividad, incidencia y gravedad de la enfermedad. Algunos de los criterios, como la persistencia en el ambiente y la sensibilidad a los procesos de tratamiento, se relacionan con características específicas de los agentes patógenos de referencia.

II. Selección de los Agentes Patógenos de Referencia (Organización Mundial de la Salud, 2018).

La selección de los agentes patógenos de referencia puede variar entre los diferentes países y regiones, y debe tener en cuenta las condiciones locales, incluida la

incidencia y gravedad de las enfermedades transmitidas por el agua y las características del agua de la fuente. Sin embargo, el rango de agentes patógenos de referencia potenciales estará limitado por la disponibilidad de datos, especialmente en lo que se refiere a los modelos de dosis-respuesta para la ECRM en seres humanos. Estos datos ayudan a identificar a los agentes patógenos que pueden ser los mayores contribuyentes a la carga de morbilidad transmitida por el agua. Son estos agentes patógenos los que pueden ser opciones adecuadas como agentes patógenos de referencia y deberán ser tomados en cuenta cuando se establezcan metas de protección de la salud

A. Virus

Los virus son los agentes patógenos más pequeños y, por lo tanto, son más difíciles de eliminar por procedimientos físicos, como la filtración. Los virus pueden persistir durante largos periodos en el agua. Las dosis infecciosas generalmente son bajas. Los virus suelen tener un rango limitado de huéspedes y muchos son específicos en cuanto a las especies. Se han identificado rotavirus, enterovirus y norovirus como potenciales agentes patógenos de referencia. Los rotavirus son la causa más importante de infección gastrointestinal en niños y pueden ocasionar graves consecuencias, incluidas la hospitalización y la muerte. Hay un modelo de dosis-respuesta para los rotavirus, pero no existe ningún método de rutina basado en el cultivo para la cuantificación de unidades infecciosas. Por lo general, los pacientes infectados excretan grandes cantidades de rotavirus y las aguas contaminadas con desechos humanos podrían contener altas concentraciones. Los enterovirus, incluidos los poliovirus y los polio virus reconocidos más recientemente, pueden causar una enfermedad

febril leve, pero también son importantes agentes de enfermedades graves, como la parálisis, la meningitis y la encefalitis en niños. La norovirus son la principal causa de gastroenteritis aguda en todos los grupos de edad (Organización Mundial de la Salud, 2018).

B. Bacterias

Las bacterias son generalmente el grupo de agentes patógenos más sensible a la inactivación por la desinfección. Algunos organismos patógenos de vida libre, como *Legionella* y micobacterias no tuberculosas, pueden proliferar en el agua, pero las bacterias entéricas normalmente no crecen en el agua y sobreviven durante periodos más cortos que los virus o protozoos. Hay agentes patógenos bacterianos potencialmente transmitidos por el agua para los cuales se han desarrollado modelos de dosis-respuesta, incluidos *Vibrio*, *Campylobacter*, *E. coli* O157, *Salmonella* y *Shigella*. El *Vibrio cholerae* toxigénico puede causar diarrea acuosa. Se han descrito grandes brotes transmitidos por el agua y estos siguen ocurriendo. Una causa importante de diarrea en todo el mundo es *Campylobacter*. La enfermedad puede producir una amplia gama de síntomas, pero la mortalidad es baja. En comparación con otros agentes patógenos bacterianos, la dosis infecciosa es relativamente baja y puede estar por debajo de 1000 organismos. La infección por *E. coli* O157 y otras cepas enterohemorrágicas de *E. coli* transmitidas por el agua es mucho menos común que la infección por *Campylobacter*, pero los síntomas de la infección son más graves, incluido el síndrome hemolítico urémico y la muerte. La dosis infecciosa puede ser muy baja (menos de 100 organismos). Se han registrado brotes de origen hídrico; Aunque *Salmonella* no tifoidea rara vez causa brotes de origen hídrico, *S. Typhi* transmitida por el agua

provoca grandes y devastadores brotes de fiebre tifoidea (Organización Mundial de la Salud, 2018).

C. Protozoos

Los protozoos son el grupo de agentes patógenos menos sensibles a la inactivación por la desinfección química. La irradiación de luz UV es eficaz contra *Cryptosporidium*, pero *Cryptosporidium* es altamente resistente a los desinfectantes oxidantes como el cloro. Pueden sobrevivir durante largos periodos en el agua. Son moderadamente específicos respecto a las especies. El ganado y los seres humanos pueden ser fuentes de protozoos como *Cryptosporidium* y *Balantidium*, mientras que los seres humanos son los únicos reservorios de los agentes patógenos *Cyclospora* y *Entamoeba*. Las dosis infecciosas generalmente son bajas. Hay modelos de dosis-respuesta para *Giardia* y *Cryptosporidium*. Generalmente, las infecciones por *Giardia* son más comunes que las infecciones por *Cryptosporidium* y los síntomas pueden ser más duraderos. Sin embargo, *Cryptosporidium* es más pequeño que *Giardia* y, por lo tanto, más difícil de eliminar por procesos físicos; también es más resistente a los desinfectantes oxidantes y hay alguna evidencia de que sobrevive más tiempo en el agua (Organización Mundial de la Salud, 2018).

D. Salmonella

i. Descripción general

El género *Salmonella* pertenece a la familia Enterobacteriaceae. Son bacilos gramnegativos móviles que no fermentan la lactosa, aunque la mayoría produce sulfuro de hidrógeno o gas por fermentación de los carbohidratos. Se ha debatido

mucho sobre la nomenclatura y taxonomía de Salmonella, pero en la actualidad se considera que en realidad hay dos especies (Salmonella entérica y Salmonella bongori) (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Efectos sobre la salud humana

Las salmonelosis típicamente producen cuatro manifestaciones clínicas: gastroenteritis (que va desde diarrea leve hasta diarrea fulminante, náuseas y vómitos), bacteriemia o septicemia (con accesos de fiebre alta y hemocultivos positivos), fiebre tifoidea o paratifoidea (con fiebre y diarrea o sin ella) y el estado de portadores en personas infectadas anteriormente. En lo que respecta a la infección intestinal, las especies de Salmonella se pueden dividir en dos grupos bastante diferenciados: las especies o serotipos tifoideos (Salmonella Typhi y S. Paratyphi) y el resto de especies o serotipos no tifoideos. Los síntomas de la gastroenteritis no tifoidea aparecen de 6 a 72 horas después de la ingestión de agua. La diarrea dura de tres a cinco días acompañada de fiebre y dolor abdominal. La enfermedad, por lo general, es de resolución espontánea. El periodo de incubación de la fiebre tifoidea puede durar de uno a catorce días, pero normalmente dura de tres a cinco días. La fiebre tifoidea es una enfermedad más grave y puede ser mortal. Aunque la fiebre tifoidea es poco frecuente en zonas con buenos sistemas de saneamiento, todavía es prevalente en otras regiones y hay muchos millones de casos al año (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

El género Salmonella está ampliamente distribuido en el ambiente, pero algunas especies o serotipos presentan especificidad respecto al huésped. Específicamente, S. Typhi y, por lo general, S. Paratyphi están restringidas al ser

humano, aunque *S. Paratyphi* puede infectar ocasionalmente al ganado. Los agentes patógenos típicamente acceden a los sistemas de distribución de agua mediante la contaminación fecal por descargas de aguas residuales, o por el ganado y los animales silvestres (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Vías de exposición

Salmonella se transmite por la vía fecal-oral. Las infecciones por serotipos no tifoideos se asocian principalmente con el contacto de persona a persona, el consumo de diversos alimentos contaminados y la exposición a animales. La infección por especies tifoideas se asocia con el consumo de agua o alimentos contaminados y es poco frecuente la transmisión directa de persona a persona. Importancia en el agua de consumo humano Los brotes de fiebre tifoidea transmitida por el agua tienen consecuencias devastadoras para la salud pública. Sin embargo, a pesar de su amplia distribución, es raro que las especies de *Salmonella* no tifoideas causen brotes transmitidos por el agua de consumo humano. En estos casos, frecuentemente debidos a *S. Typhimurium*, la transmisión se ha asociado con el consumo de aguas subterráneas y superficiales contaminadas. Las especies de *Salmonella* son relativamente sensibles a la desinfección. En un plan de seguridad del agua, las medidas de control que pueden aplicarse para gestionar el riesgo incluyen la protección de las fuentes de agua no tratada para evitar residuos humanos y animales, el tratamiento adecuado y la protección del agua durante su distribución. El análisis de *Escherichia coli* (o bien de coliformes termotolerantes) por lo general es un indicador confiable de la presencia o ausencia de *Salmonella* spp (Organización Mundial de la Salud, 2018).

E. Helicobacter pylori

i. Descripción general

“Helicobacter pylori, que originalmente se clasificó como Campylobacter pylori, es una bacteria gramnegativa, microaerófila, espiral y móvil” (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Efectos sobre la salud humana

Helicobacter pylori se encuentra en el estómago y, aunque la mayoría de las infecciones son asintomáticas, el microorganismo se ha asociado con gastritis crónica, que puede producir complicaciones como úlceras pépticas o duodenales y cáncer de estómago, aunque todavía no está claro si el microorganismo es realmente la causa de estas enfermedades. La mayoría de las infecciones por H. pylori se inician en la infancia y, si no se tratan, se vuelven crónicas. Las infecciones tienen mayor prevalencia en los países en desarrollo y se asocian con condiciones de hacinamiento. Son comunes las agrupaciones interfamiliares de casos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

El ser humano es, al parecer, el huésped principal de H. pylori. Hay pruebas de que H. pylori es sensible a las sales biliares, lo cual disminuiría la probabilidad de excreción por la vía fecal, aunque se ha aislado en las heces de niños de corta edad. Helicobacter pylori se ha detectado en el agua. Aunque es poco probable que H. pylori crezca en el ambiente, se ha comprobado su supervivencia durante tres semanas en biopelículas y hasta 20 a 30 días en aguas superficiales. No se determinó correlación entre la presencia de H. pylori y la de E. coli. La contaminación del ambiente puede

producirse por las heces de niños con diarrea o los vómitos de niños y también de adultos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Vías de exposición

El contacto de persona a persona dentro de las familias se ha señalado como la fuente de contagio más probable, por transmisión oral-oral. *Helicobacter pylori* puede sobrevivir fácilmente en mucosidades o vómitos; sin embargo, es difícil de detectar en muestras bucales o fecales. También se considera posible la transmisión fecal-oral. Importancia en el agua de consumo humano Se ha sugerido que el consumo de agua contaminada es una fuente potencial de infección, pero se necesitan estudios adicionales para establecer un posible vínculo con la transmisión por el agua. El ser humano es la fuente principal de *H. pylori* y el microorganismo es sensible a los desinfectantes oxidantes. Por lo tanto, las medidas de control que se pueden aplicar para proteger el sistema de abastecimiento de agua de consumo humano contra *H. pylori* incluyen la prevención de la contaminación por residuos humanos y la desinfección adecuada. El análisis de *Escherichia coli* (o bien de coliformes termotolerantes) no es un indicador confiable de la presencia o ausencia de este organismo (Organización Mundial de la Salud, 2018).

F. *Pseudomonas aeruginosa*

i. Descripción general

Pseudomonas aeruginosa pertenece a la familia *Pseudomonadaceae* y es un bacilo gramnegativo aerobio con un flagelo polar. Cuando se cultiva en medios adecuados produce piocianina, un pigmento azulado no fluorescente. Muchas cepas producen también el pigmento verde fluorescente pioverdina. *Pseudomonas aeru-*

ginosa, al igual que otras pseudomonas fluorescentes, produce catalasa, oxidasa y amoniaco a partir de la arginina, y puede crecer en citrato como única fuente de carbono (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Efectos sobre la salud humana

Pseudomonas aeruginosa puede causar diversos tipos de infecciones, pero rara vez causa enfermedades graves en personas sanas sin algún factor predisponente. Desde estos lugares puede invadir el organismo y causar lesiones destructivas o septicemia y meningitis. Los pacientes con fibrosis quística o inmunodeprimidos son propensos a la colonización por P. aeruginosa, lo que puede conducir a infecciones pulmonares progresivas graves. Las foliculitis y las otitis relacionadas con el agua se asocian con ambientes húmedos y cálidos, como las piscinas y bañeras de hidromasaje. Muchas cepas son resistentes a diversos agentes antimicrobianos, lo que puede aumentar su relevancia en el ámbito hospitalario (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

Pseudomonas aeruginosa es un microorganismo común en el ambiente y puede encontrarse en las heces, el suelo, el agua y las aguas residuales. Puede multiplicarse en ambientes acuáticos, así como en la superficie de materias orgánicas propicias en contacto con el agua. Pseudomonas aeruginosa es una fuente conocida de infecciones intrahospitalarias y puede producir complicaciones graves. Se han aislado en gran variedad de ambientes húmedos, como lavamanos, baños de agua, sistemas de distribución de agua caliente, duchas y bañeras (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. **Vías de exposición**

La vía de infección principal es la exposición de tejidos vulnerables, en particular heridas y membranas mucosas, al agua contaminada o a instrumentos quirúrgicos contaminados. La limpieza de lentes de contacto con agua contaminada puede causar un tipo de queratitis. La ingestión de agua de consumo humano no es una fuente de infección importante (Organización Mundial de la Salud, 2018).

v. **Importancia en el agua de consumo humano**

Aunque la presencia de *P. aeruginosa* puede ser significativa en algunos entornos, como en los centros de salud, no hay evidencia de que los usos normales del agua de consumo humano sean una fuente de infección para la población general. No obstante, su presencia en concentraciones altas especialmente en el agua envasada para el consumo humano puede asociarse con problemas de sabor, olor y turbiedad. *Pseudomonas aeruginosa* es sensible a la desinfección, por lo que una desinfección adecuada puede minimizar su entrada en los sistemas de distribución. Las medidas de control diseñadas para limitar la formación de biopelículas, como el tratamiento para optimizar la eliminación del carbono orgánico, la restricción del tiempo de residencia del agua en los sistemas de distribución y el mantenimiento de un nivel adecuado de desinfectante residual, deberían reducir la proliferación de estos microorganismos. El RHP detecta la presencia de *Pseudomonas aeruginosa* y puede utilizarse, junto con parámetros como la concentración de desinfectante residual, como indicador de condiciones que podrían sustentar el crecimiento de estos microorganismos. Sin embargo, como *P. aeruginosa* es un microorganismo común en el ambiente, el análisis de *E. coli* (o bien de coliformes termotolerantes) no puede utilizarse con este propósito (Organización Mundial de la Salud, 2018).

III. Contaminación por heces

La contaminación por heces puede provocar infecciones por patógenos que pueden llegar a ser mortales, muchos microorganismos pueden estar presentes en las heces animales como humanas y estos al entrar en el sistema digestivo provocan desde diarreas agudas, gastritis, úlceras gástricas, hepatitis, cuadros febriles, entre otros síntomas que amenacen la vida de los consumidores. Por esta razón es importante monitorear que no exista esta contaminación en el agua potable, por esto se han buscado indicadores que detecten de manera directa o indirecta la contaminación por heces; la utilización de microorganismos como indicadores de contaminación fecal es una herramienta muy útil, ya que permiten tomar decisiones sobre la desinfección del agua.

IV. Microorganismos indicadores de contaminación fecal

Los microorganismos indicadores permiten determinar ciertos parámetros del proceso de desinfección:

- a. La contaminación fecal en el monitoreo de verificación y vigilancia;
- b. La eficacia de procesos como la filtración o desinfección en la validación;
- c. La integridad y limpieza de los sistemas de distribución en el monitoreo operativo.

Algunos de los organismos más utilizados como indicadores de contaminación fecal son los siguientes:

A. Coliformes fecales totales

i. Descripción general

Las bacterias coliformes totales incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulados capaces de crecer en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares que fermentan

la lactosa y producen ácido o aldehído en 24 horas a 35-37 °C. Tradicionalmente, se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. El grupo de los coliformes totales incluye especies fecales y ambientales (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Valor como indicador

Los coliformes totales incluyen microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no son útiles como indicadores de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. Se ha propuesto que los coliformes totales se podrían usar como un indicador de la desinfección. Sin embargo, el análisis de coliformes totales es mucho más lento y menos confiable que la medición directa de la concentración del desinfectante residual. Además, los coliformes totales son mucho más sensibles a la desinfección que los virus entéricos y protozoos. El RHP detecta una gama más amplia de microorganismos y se considera generalmente un mejor indicador de la integridad y limpieza de los sistemas de distribución (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

Los coliformes totales (excluida *E. coli*) están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y en medios acuáticos. Los coliformes totales también pueden

sobrevivir y crecer en sistemas de distribución de agua, sobre todo en presencia de biopelículas (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Métodos analíticos

Los coliformes totales se miden generalmente en muestras de 100 ml de agua. Existen diversos procedimientos relativamente sencillos basados en la producción de ácido a partir de la lactosa o en la producción de la enzima β -galactosidasa. Los procedimientos incluyen la filtración del agua con una membrana, seguida de la incubación de la membrana en medios selectivos a 35-37 °C y el recuento de colonias después de 24 horas. Otros métodos son los procedimientos del número más probable, en los que se utilizan tubos de ensayo o placas de microtitulación y pruebas de presencia o ausencia (Organización Mundial de la Salud, 2018).

v. Importancia en el agua de consumo humano

Debe haber ausencia de coliformes totales inmediatamente después de la desinfección; la presencia de estos microorganismos indica que el tratamiento es inadecuado. La presencia de coliformes totales en sistemas de distribución y en el agua almacenada puede revelar reproblicación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materiales extraños, como tierra o plantas (Organización Mundial de la Salud, 2018).

B. Escherichia coli y bacterias coliformes termotolerantes

i. Descripción general

Las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C se conocen como coliformes termotolerantes. En la mayoría de

las aguas, el género predominante es *Escherichia*, pero algunos tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son termotolerantes. *Escherichia coli* se puede distinguir de los demás coliformes termotolerantes por su capacidad para producir indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima β -glucuronidasa. *E. coli* está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal, aunque hay indicios de que puede crecer en suelos tropicales. Entre las especies de coliformes termotolerantes, además de *E. coli*, puede haber microorganismos ambientales (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Valor como indicador

Se considera que *Escherichia coli* es el indicador de contaminación fecal más adecuado. En la mayoría de las circunstancias, las poblaciones de coliformes termotolerantes se componen predominantemente de *E. coli*; por lo tanto, este grupo se considera un indicador de contaminación fecal aceptable, pero menos confiable que *E. coli*. *Escherichia coli* (o bien los coliformes termotolerantes) es el microorganismo de elección en los programas de monitoreo para la verificación la calidad del agua de consumo humano. Estos microorganismos también se utilizan como indicadores de la desinfección, pero los análisis son mucho más lentos y menos confiables que la medición directa de la concentración del desinfectante residual. Además, *E. coli* es mucho más sensible a la desinfección que los virus entéricos y protozoos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

Hay grandes cantidades de *Escherichia coli* en las heces humanas y animales, en las aguas residuales y en el agua que ha estado expuesta recientemente a conta-

minación fecal. Es muy poco probable que la disponibilidad de nutrientes y la temperatura del agua en los sistemas de distribución de agua de consumo humano favorezcan la proliferación de estos microorganismos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Métodos analíticos

La concentración de *Escherichia coli* (o bien de coliformes termotolerantes) se mide, por lo general, en muestras de 100 ml de agua. Para ello, existen diversos procedimientos relativamente sencillos basados en la producción de ácido y gas a partir de la lactosa o en la producción de la enzima β -glucuronidasa. Los procedimientos incluyen la filtración del agua con una membrana, seguida de la incubación de la membrana en medios selectivos a 44-45 °C y el recuento de colonias después de 24 horas. Otros métodos son los procedimientos del número más probable, en los que se utilizan tubos de ensayo o placas de microtitulación y pruebas de presencia o ausencia (Organización Mundial de la Salud, 2018).

v. Importancia en el agua de consumo humano

La presencia de *E. coli* (o bien de coliformes termotolerantes) es indicador de una contaminación fecal reciente, por lo que tras su detección debería considerarse la toma de medidas adicionales, como la realización de otros muestreos y la investigación de las posibles fuentes de contaminación, como un tratamiento inadecuado o alteraciones en la integridad del sistema de distribución (Organización Mundial de la Salud, 2018).

C. Colífagos

i. Descripción general

Los bacteriófagos (fagos) son virus que sólo utilizan bacterias como huéspedes para la replicación. Los colífagos utilizan *E. coli* y otras especies estrechamente emparentadas como huéspedes y, por lo tanto, pueden ser liberados por estos huéspedes bacterianos en las heces humanas y de otros animales de sangre caliente. Los colífagos que se utilizan en la evaluación de la calidad del agua se dividen en dos grupos principales: colífagos somáticos y colífagos de ARN F-específicos. Una de las diferencias entre ambos grupos es la vía de infección (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Los colífagos somáticos inician la infección uniéndose a receptores ubicados permanentemente en la pared celular de los huéspedes. Suelen replicarse en el aparato digestivo de los animales de sangre caliente, pero también pueden hacerlo en medios acuáticos. Los colífagos de ARN F-específicos son un grupo reducido de fagos estrechamente relacionados que pertenecen a la familia Leviviridae y consisten de un genoma de ARN monocatenario y una cápside icosaédrica, con una morfología similar a la de los picornavirus (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Valor como indicador

Los colífagos tienen muchas características en común con los virus humanos, como su composición, morfología, estructura y modo de replicación. Por lo tanto, los colífagos son sustitutos o modelos útiles para evaluar el comportamiento de los virus entéricos en medios acuáticos y su sensibilidad a los procesos de tratamiento y desinfección. En este sentido, son más útiles que las bacterias fecales y podría considerarse

su inclusión en el monitoreo de verificación, control y vigilancia cuando se sabe que las fuentes de agua están contaminadas con heces humanas. Sin embargo, no hay correlación directa entre la concentración de colifagos y la de virus entéricos. Además, no se puede confiar completamente en los colifagos como indicadores de virus entéricos. Esto se ha confirmado mediante el aislamiento de virus entéricos provenientes de sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano tratada y desinfectada que habían dado resultados negativos en análisis convencionales de colifagos. Los colifagos de ARN F-específicos representan un indicador de contaminación fecal más específico que los colifagos somáticos. También son mejores indicadores del comportamiento de los virus entéricos en medios acuáticos y de su respuesta a los procesos de tratamiento y desinfección. Esto ha sido confirmado en estudios comparativos del comportamiento y la supervivencia de colifagos de ARN F-específicos, colifagos somáticos, bacterias fecales y virus entéricos. Debido a las limitaciones de los colifagos, es mejor reservar su utilización para investigaciones de laboratorio, estudios preliminares y, posiblemente, pruebas de validación. No son adecuados para la verificación, control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

Las personas y animales excretan cantidades relativamente pequeñas de colifagos. Debido a sus diferentes modos de replicación y especificidad del huésped, los colifagos somáticos son excretados, generalmente, por la mayoría de las personas y animales, mientras que los colifagos de ARN F-específicos son excretados por una proporción variable y generalmente menor de personas y animales. Según los datos disponibles, en algunas poblaciones, pueden detectarse colifagos de ARN F-espe-

cíficos en el 10% de las muestras fecales humanas, el 45% de las bovinas, el 60% de las porcinas y el 70% de las de aves de corral. Se ha comprobado que en los medios acuáticos hay generalmente 5 veces más colífagos somáticos que colífagos de ARN F-específicos, y 500 veces más que virus humanos citopatógenos, aunque estas proporciones varían considerablemente. Se han detectado hasta 105 colífagos somáticos y colífagos de ARN F-específicos por litro en aguas de ríos y lagos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Métodos analíticos

Los análisis en placa para colífagos de ARN F-específicos no son tan sencillos, ya que el cultivo de bacterias huéspedes debe estar en la fase de crecimiento logarítmico y a una temperatura superior de 30 °C para garantizar que haya fimbrias F. Se realizan análisis en placa, con placas Petri grandes para el recuento cuantitativo en muestras de 100 ml, y se realizan análisis de presencia o ausencia para volúmenes de agua de 500 ml o más (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Importancia en el agua de consumo humano Dado que los colífagos se replican típicamente en el aparato digestivo de las personas y de otros animales de sangre caliente, su presencia en el agua de consumo humano es un indicador de contaminación fecal y, por lo tanto, de la posible presencia de virus entéricos y de otros agentes patógenos. La presencia de colífagos en el agua de consumo humano también indica fallas en los procesos de tratamiento y desinfección diseñados para eliminar virus entéricos. Los colífagos de ARN F-específicos son indicadores más específicos de contaminación fecal. La ausencia de colífagos en el agua de consumo humano tratada no confirma la ausencia de agentes patógenos, como virus entéricos o protozoos parásitos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

D. Recuentos de Heterótrofos en Placa (RHP)

i. Descripción general

El RHP detecta un amplio espectro de microorganismos heterótrofos, incluidos bacterias y hongos, basado en la capacidad de estos microorganismos de crecer en medios ricos en nutrientes, sin agentes selectivos ni inhibidores, durante un periodo de incubación especificado y a una temperatura definida. El espectro de microorganismos detectados mediante este tipo de análisis incluye microorganismos sensibles a los procesos de desinfección, como las bacterias coliformes; microorganismos resistentes a la desinfección, como los esporulados, y microorganismos que proliferan con rapidez en el agua tratada en ausencia de desinfectante residual. Los análisis detectan únicamente una pequeña proporción de los microorganismos presentes en el agua.

La población recuperada será diferente según el método y las condiciones que se apliquen. Aunque se han desarrollado métodos normalizados, no existe un método universal y único de medición del RHP. Se dispone de diversos medios de cultivo, se utilizan temperaturas de incubación, de 20 a 37 °C y los periodos de incubación varían desde unas pocas horas hasta siete días o más (Organización Mundial de la Salud, 2018).

ii. Valor como indicador

El análisis tiene poco valor como indicador de la presencia de microorganismos patógenos, pero puede utilizarse en el monitoreo operativo como indicador del tratamiento y desinfección del agua, cuyo objetivo es mantener los recuentos en los valores más bajos que sea posible. La medición de RHP también se

puede usar para evaluar la limpieza e integridad de los sistemas de distribución, así como la presencia de biopelículas (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iii. Fuente y ocurrencia

Son microorganismos heterótrofos tanto los microorganismos, normalmente inoocuos, que forman parte de la microflora natural de los medios acuáticos como los microorganismos presentes en diversas fuentes de contaminación. Son abundantes en fuentes de agua cruda. Los microorganismos que detectan los RHP varían mucho de un lugar a otro y entre muestras consecutivas. Algunos procesos de tratamiento del agua de consumo humano, como la coagulación y la sedimentación, reducen la concentración de microorganismos detectados mediante RHP del agua. Sin embargo, otros tratamientos, como la filtración de arena o el carbón activado biológicamente, sustentan la proliferación de estos microorganismos. Los microorganismos detectados mediante RHP disminuyen significativamente con los tratamientos de desinfección, como la cloración, la ozonización y la irradiación con luz UV. Sin embargo, en la práctica, ninguno de los procesos de desinfección esteriliza el agua y los microorganismos detectados mediante RHP pueden crecer con rapidez en condiciones adecuadas, como la ausencia de desinfectante residual. Los microorganismos detectados mediante RHP pueden proliferar tanto en el agua como en superficies que están en contacto con el agua, como las biopelículas. Los factores principales que favorecen la proliferación o re proliferación son la temperatura, la disponibilidad de nutrientes (incluido el carbono orgánico asimilable), la ausencia de desinfectante residuales y el estancamiento del agua (Organización Mundial de la Salud, 2018).

iv. Métodos analíticos

No se necesitan laboratorios complejos ni personal muy especializado. Los resultados se obtienen mediante la incubación de sencillas placas de agar en condiciones aerobias y están disponibles en horas o días, en función de las características del procedimiento utilizado (Organización Mundial de la Salud, 2018).

v. Importancia en el agua de consumo humano

Después de la desinfección, cabe esperar que los RHP sean bajos; no obstante, para la mayoría de los usos de los RHP, los resultados concretos son menos importantes que sus variaciones en lugares determinados. En los sistemas de distribución, un aumento de los RHP puede indicar un deterioro de la limpieza, posiblemente la existencia de agua estancada y el posible desarrollo de biopelículas. Entre los microorganismos detectados mediante RHP puede haber agentes patógenos potencialmente “oportunistas” como *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Moraxella*, *Serratia*, *Pseudomonas* y *Xanthomonas*. Sin embargo, no se ha demostrado que ninguno de estos microorganismos esté asociado a infecciones del aparato digestivo en la población general por la ingestión de agua de consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2018).

2.4.2 Equipos para Potabilización

Cada vez que se bebe un vaso de agua, cada vez que se enciende una ducha, es un largo camino el que esa sustancia incolora e inodora llamada agua ha recorrido hasta llegar a donde es requerida, para lograr que los seres humanos tengan facilidad de acceso a agua potable “apta para consumo humano” se requiere de sistemas de abastecimiento de agua que son auténticas obras de ingeniería cuya construcción requieren la colaboración de múltiples ramas.

2.4.2.1 Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano.

El vital líquido que llega a los grifos en los hogares, lleva a cabo una gran travesía antes de llegar a su destino donde será utilizada para diversas actividades entre las cuales destacan su ingesta o consumo por parte del usuario. El proceso de suministro de agua potable comprende, de manera general, la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del recurso hídrico, así, el viaje comienza en el principio con la fuente de agua.

Un sistema de abastecimiento de agua potable es un conjunto de obras que permiten que una comunidad pueda obtener el agua para fines de consumo doméstico, servicios públicos, industrial y otros usos. El agua suministrada debe ser en cantidades suficientes y de la mejor calidad; desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico (Quinteros Carpio y Ramírez Gutiérrez, 2007).

I. Componentes de un Sistema de Abastecimiento de Agua:

- a) Fuente de abastecimiento.
- b) Captación.
- c) Aducción.
- d) Depuración o Tratamiento.
- e) Conducción de agua depurada o tratada.
- f) Almacenamiento.

- g) Red de distribución.
- h) Estaciones de bombeo.
- i) Macro medición.
- j) Acometidas domiciliarias (micro medición).

El agua vista dentro del ciclo hidrológico quizás sea gratuita, sin embargo, como cada una de las etapas que se necesitan para suministrarla requiere de dinero para su construcción, mantenimiento y otros insumos, razón por la que la factura del servicio de agua es por los costos de suministrarla y no por el vital líquido en sí, cuesta mucho dinero ponerla a disposición de la población para los diferentes usos; por lo tanto, es esencial obtener el compromiso de hacer frente a dichos costos.

II. Fuentes de Abastecimiento de Agua.

Según el portal de ANDA, las fuentes de agua son:

- a. Fuentes subterráneas:** Son los acuíferos y napas. Los acuíferos son masas de agua acumuladas en el interior de la corteza terrestre, provenientes de la condensación de vapor de agua en el interior del planeta o agua de lluvia. Las napas son las capas de agua dulce de los acuíferos que se encuentran más cerca de la superficie. Generalmente es agua potable que solamente necesita desinfección doméstica.
- b. Aguas superficiales:** Son los ríos, arroyos y lagos. Pueden tener distintos orígenes y alimentación, como otros ríos o deshielos. En muchos casos es agua potable, pero cuando esos mismos cuerpos reciben descargas de aguas servidas, debe ser potabilizada.

- c. **Aguas atmosféricas:** El agua de lluvia es el principal recurso hídrico para el riego. Además, hay muchas comunidades que se abastecen con esta. Sin embargo, no es potable ya que arrastra partículas, gases y contaminantes, pero puede potabilizarse en el hogar.
- d. **Agua embotellada:** Es otra fuente de agua potable cada vez más utilizada frente a las dudas sobre la calidad, olor, sabor o color del agua de red.

Las plantas de tratamiento de agua potable deben de cumplir con los requisitos mínimos de calidad que la ley del país de residencia, garantizando así que la salud de los consumidores no es afectada por el agua suministrada, para esto el tratamiento de este compuesto por muchos procesos que permiten la obtención de una calidad optima, a continuación, se presentan etapas de un proceso de tratamiento, estos pueden funcionar en sustitución o en paralelo en una misma planta de tratamiento (ANDA, 2020).

A. Entrada o Captación del Agua Cruda

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques. En cambio, la captación de aguas subterráneas se realiza por medio de pozos con los que se busca acceder a los mantos acuíferos que yacen en el subsuelo.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos, requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. Las aguas subterráneas están expuesta a los componentes naturales del suelo y a componentes antropogénicos tales como insecticidas, fertilizantes y compuestos provenientes de la industria, contaminantes que si no se les da un tratamiento adecuado pueden infiltrarse en el suelo hasta llegar a las aguas que se encuentran en los mantos acuíferos.

B. Agregado y Dosificación de Productos Químicos

El agregado de productos químicos (coagulantes) se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua. A la variedad de productos químicos empleados en la co-

agulación se los clasifica como coagulantes, modificadores de pH y ayudantes de coagulación.

i. Coagulantes

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloro- sulfato férrico.

ii. Modificadores de pH

Como se ha visto, para lograr mejores resultados en el tratamiento, en algunos casos será necesario regular la alcalinidad del agua o modificar su pH; para ello se emplean:

- a) Hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- b) Carbonato de sodio, Na_2CO_3
- c) Bicarbonato sódico, NaHCO_3

C. Ayudantes de Coagulación (Quinteros Carpio y Ramírez Gutiérrez, 2007).

Son polímeros aniónicos, catiónicos o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Son sustancias de un alto peso molecular, de origen natural o sintético. Requieren ensayos de coagulación y floculación antes de su elección.

Los polímeros sólidos son generalmente poliacrilamida o poliacrilamida hidrolizada y son no iónicos. Los líquidos son generalmente soluciones catiónicas, que contienen de 10 a 60% de polímero activo.

D. Procesos de Coagulación (Romero Rojas, 1999).

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación,

sedimentación y filtración. La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- a) Fenómeno químico.
- b) Fenómeno físico.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua

Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida.

La coagulación está esencialmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color aparente, turbiedad, temperatura, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etcétera.

E. Proceso de floculación (Quinteros Carpio y Ramírez Gutiérrez, 2007).

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

Existen dos tipos de floculación para promover el crecimiento de los flóculos, se detallan a continuación:

- a) Floculación Peri cinética: Se basa en las colisiones debidas al movimiento de las moléculas e inducidas por la energía térmica. A este movimiento se denomina “Movimiento Browniano”.

b) Floculación Ortocinética: Se basa en las colisiones de las partículas debidas al movimiento del agua. Este movimiento es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

i. Factores que influyen en la floculación

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- a) Naturaleza del agua
- b) Variaciones de caudal
- c) Intensidad de agitación
- d) Tiempo de floculación

F. Proceso de sedimentación (Romero Rojas, 1999).

Es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido, y que tengan peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación se realiza en decantadores. En ellos se produce la decantación del flóculo, que precipitan al fondo del decantador formando lodos. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Los decantadores o sedimentadores en su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua que contiene menor turbiedad, por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración.

G. Proceso de filtración (Quinteros Carpio y Ramírez Gutiérrez, 2007).

Es la remoción de sólidos suspendidos y coloidales presentes en una suspensión acuosa a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final, que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente de los patrones de potabilidad.

Los filtros están compuestos por un manto sostén formado por grava, arena y antracita.

H. Mecanismos de la filtración

La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante.

Los mecanismos que pueden realizar transporte son los siguientes:

- a) Cernido
- b) Sedimentación
- c) Intercepción
- d) Difusión
- e) Impacto inercial
- f) Acción hidrodinámica
- g) Mecanismos de transporte combinados.

Los mecanismos de adherencia son los siguientes:

- a) Fuerzas de Van der Waals
- b) Fuerzas electroquímicas
- c) Puente químico

Se han planteado debates sobre cuál de estos mecanismos es el que controla el proceso de filtración. Es indudable que no todos necesariamente tienen que actuar al mismo tiempo y que, en algunos casos, la contribución de uno o varios de ellos para retener el material suspendido es quizás mínimo.

Pero hay que tener en cuenta que, dada la complejidad del fenómeno, más de un mecanismo deberá entrar en acción para transportar los diferentes tamaños de partículas hasta la superficie de los granos del medio filtrante y adherirlas.

I. Proceso de desinfección (Romero Rojas, 1999).

Es un proceso selectivo para la destrucción de microorganismos patógenos presentes en el agua (bacterias, protozoarios, virus y parásitos). Este proceso es necesario porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos físico-químicos, usualmente utilizados en el tratamiento del agua.

El agente de desinfección más empleado es el cloro, debido a su fácil disponibilidad en forma de gas, líquido o sólido, es capaz de destruir la mayoría de microorganismos patógenos.

Por otro lado, las aguas suministradas por una planta de tratamiento de agua para consumo humano pueden sufrir recontaminación en los tanques de almacenamiento o en las redes de distribución antes de ser distribuidas a la población. La desinfección debe protegerlas también de estas situaciones de riesgo posteriores al tratamiento.

J. La cloración

El cloro, oxidante poderoso, es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente (Romero Rojas, 1999).

Sin embargo, presenta algunas desventajas:

- a) Es muy corrosivo
- b) Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- c) Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores.
- d) El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire.

i. Características del cloro como desinfectante

- a) Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- b) Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- c) La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- d) En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- e) Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación en la red de distribución.

2.4.3 Estadísticas en El Salvador

Según la Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples 2012 (EHPM 2012), un 23.7% de los hogares rurales y un 12.6% de los hogares urbanos todavía no contaban con agua segura, pues se abastecían de fuentes “no mejoradas”, y esta cobertura se refiere solo a hogares que cuentan con la infraestructura, no incluye las horas de servicio al día y la calidad del suministro; el resto de la población se abastece por mecanismos comunitarios como cantareras, pozos, manantiales y captación de aguas lluvias. Igualmente, a nivel nacional el 3.5% de los hogares no dispone de servicio sanitario, lo que varía para el área urbana (0.6%) y rural (9.2%) (MARN, Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental, 2013).

Datos recabados por MINSAL revelan que, durante el año 2011, la diarrea de presunto origen infeccioso se identificó como la sexta causa de consulta con más de 300 mil casos a nivel nacional, las cuales incluyen parasitismo intestinal, fiebre tifoidea, paratifoidea y salmonelosis, estas enfermedades están directamente ligadas a la contaminación hídrica (MARN, Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental, 2013).

2.4.4 Marco Legal

El derecho al agua potable se encuentra ligado al derecho a la salud (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2022), por lo que en El Salvador el garantizar que el agua consumida por sus habitantes sea de calidad, por lo que se han creado instrumentos legales que garanticen la administración responsable del recurso hídrico.

El Salvador en su Constitución en el artículo 65 reza lo siguiente: “La salud de los habitantes de la República constituye un bien público. El Estado y las personas están obligados a velar por su conservación y restablecimiento. El Estado determinará la política nacional de salud y controlará y supervisará su aplicación.” (Asamblea Constituyente de El Salvador, 1983), esto obliga al Estado Salvadoreño a la creación de políticas de salud; estas políticas deben de abarcar la administración, abastecimiento y calidad del agua potable consumida por los habitantes del país. Además, en el párrafo dos del artículo 69 de la Constitución reconoce que “El Estado controlará la calidad de los productos alimenticios y las condiciones ambientales que puedan afectar la salud y el bienestar.” (Asamblea Constituyente de El Salvador, 1983), la contaminación en el agua potable puede atentar gravemente con la salud de los consumidores, por medio de sustancias o patógenos que provocan enfermedades explicadas en la sección 2.4.2; El Estado Salvadoreño por medio del instrumento legal llamado: Código de Salud, desde ahora el Código; el cual es la máxima ley en materia de salud en El Salvador, este desarrolla los principios constitucionales en materia de salud pública y asistencia social; en la sección siete de este, ordena al MINSAL desarrollar programas de saneamiento ambiental, por medio de organismos regionales, departamentales y locales de salud (Asamblea Legislativa de El Salvador, 1988). Uno de estos programas debe de estar encaminado a lograr para las comunidades el abastecimiento de agua potable; por lo que el Estado salvadoreño debe de garantizar que el agua que llegue en condiciones salubres para que no afecte la salud de los consumidores.

En el artículo 63 del Código tiene como objeto dar potestad al MINSAL sobre la dictaminación de normas que garanticen que el agua suministrada a los habitantes cumpla con requisitos de calidad, “El agua destinada para el consumo humano deberá tener la calidad sanitaria que el Ministerio conceptúa como buena y exigirá el cumplimiento de las normas de calidad en todos los abastecimientos de agua utilizadas para el consumo humano.” (Asamblea

Legislativa de El Salvador, 1988). El Artículo 65 del código exige que “un reglamento determinará las condiciones técnicas y legales de los servicios de agua potable, así como la calidad de la misma” (Asamblea Legislativa de El Salvador, 1988); en base al anterior artículo el Estado Salvadoreño en el 2018, crea el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14, titulado Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad; este sustituye a la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.07.01:08 Agua. Agua Potable.

2.4.4.1 Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad.

Desde 2018 el Órgano Ejecutivo por medio del MINSAL y el OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica) crean el RTS 13.02.01:14 (de ahora en adelante el Reglamento), que tiene como objeto “Establecer los límites permisibles de los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos que debe cumplir el agua para el consumo humano” (Gobierno de El Salvador, 2018); el ámbito de aplicación del Reglamento es “a toda persona natural o jurídica que administra, abastece y opera un sistema de abastecimiento de agua de consumo humano sea público, privado o mixto” (Gobierno de El Salvador, 2018), por lo que en la investigación es importante aplicar este reglamento, ya que en ciertos caseríos y colonias del Cantón Portezuelo la Junta de Agua (desde ahora la Junta) es la encargada de llevar agua potable a los habitantes. El Reglamento expresa los requisitos de calidad que el agua para consumo humano debe de tener, estos se clasifican en parámetros microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. Ver Ilustración 2-3. Entiéndase por Junta de Agua “a aquellas organizaciones sociales sin fines de lucro con personería jurídica que tienen por finalidad prestar el servicio de agua potable a la comunidad” (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2022).

El Reglamento presenta los límites de los parámetros que se deben de evaluar en el agua potable, estos son de estricto cumplimiento para todos los administradores de sistemas de agua, en la Tabla 2-1 se presentan los parámetros microbiológicos, de la misma manera son presentados en la Tabla 2-2 los parámetros fisicoquímicos contemplados en el Reglamento:

Tabla 2-1 Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos para agua de consumo humano

N°	Parámetros	Límites Máximos		
		Técnica de filtración por membranas	Técnicas de tubos múltiples	Método
1	Bacterias coliformes totales	<1 UFC/100 mL	<1.1 NMP/100 mL	N/A
2	Bacterias coliformes fecales	<1 UFC/100 mL	<1.1 NMP/100 mL	N/A
3	Escherichia coli	<1 UFC/100 mL	<1.1 NMP/100 mL	Ausencia

NOTA: TOMADO DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

Tabla 2-2 Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos para agua de consumo humano

N°	Parámetros	Límite Máximo Permissible (mg/L)	N°	Parámetros	Límite Máximo Permissible (mg/L)
1	Cianuro	0.07	11	Sulfatos	250.0
2	Cloro residual libre	(0.3-1.1)	12	Turbidez	5 UNT
3	Color aparente	15 (Pt-Co)	13	Aluminio	0.2
4	Dureza	500	14	Antimonio	0.02
5	Fluoruros	1.5	15	Arsénico	0.01
6	Nitratos	50	16	Bario	0.7
7	Nitritos	3	17	Boro	2.4
8	Olor	No rechazable	18	Cadmio	0.003
9	pH	6.0-8.5	19	Cobre	2.0
10	Sólidos totales disueltos	1000	20	Cromo	0.05

(Continúa)

TOMADO DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

Tabla 2-2 Límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos para agua de consumo humano (Continuación)

N°	Parámetros	Límite Máximo Permissible (mg/L)	N°	Parámetros	Límite Máximo Permissible (mg/L)
21	Hierro	0.3	35	Aldicarb sulfóxido	0.01
22	Manganeso	0.1	36	Aldicarb sulfona	0.01
23	Mercurio	0.006	37	Carbofurano	0.007
24	Níquel	0.07	38	Carbaril	0.09
25	Plomo	0.01	39	Metiocarb	0.005
26	Selenio	0.04	40	Naftol	0.03
27	Zinc	4.0	41	Oxamil	0.2
28	Aldrin/Dialdrin	0.00003	42	Metomil	0.08
29	DDT/DDD/DDE	0.001	43	Propoxur	0.028
30	Endosulfan I / Endosulfan II / Endosulfano Sulfato	0.02	44	Hidroxicarbofuran	0.005
31	Heptacloro	0.0004	45	Paracuat	0.01
32	Hexaclorobenceno	0.001	46	Dicuat	0.02
33	Lindano	0.002	47	AMPA	0.7
34	Aldicarb	0.01	48	Glifosato	0.7

TOMADO DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

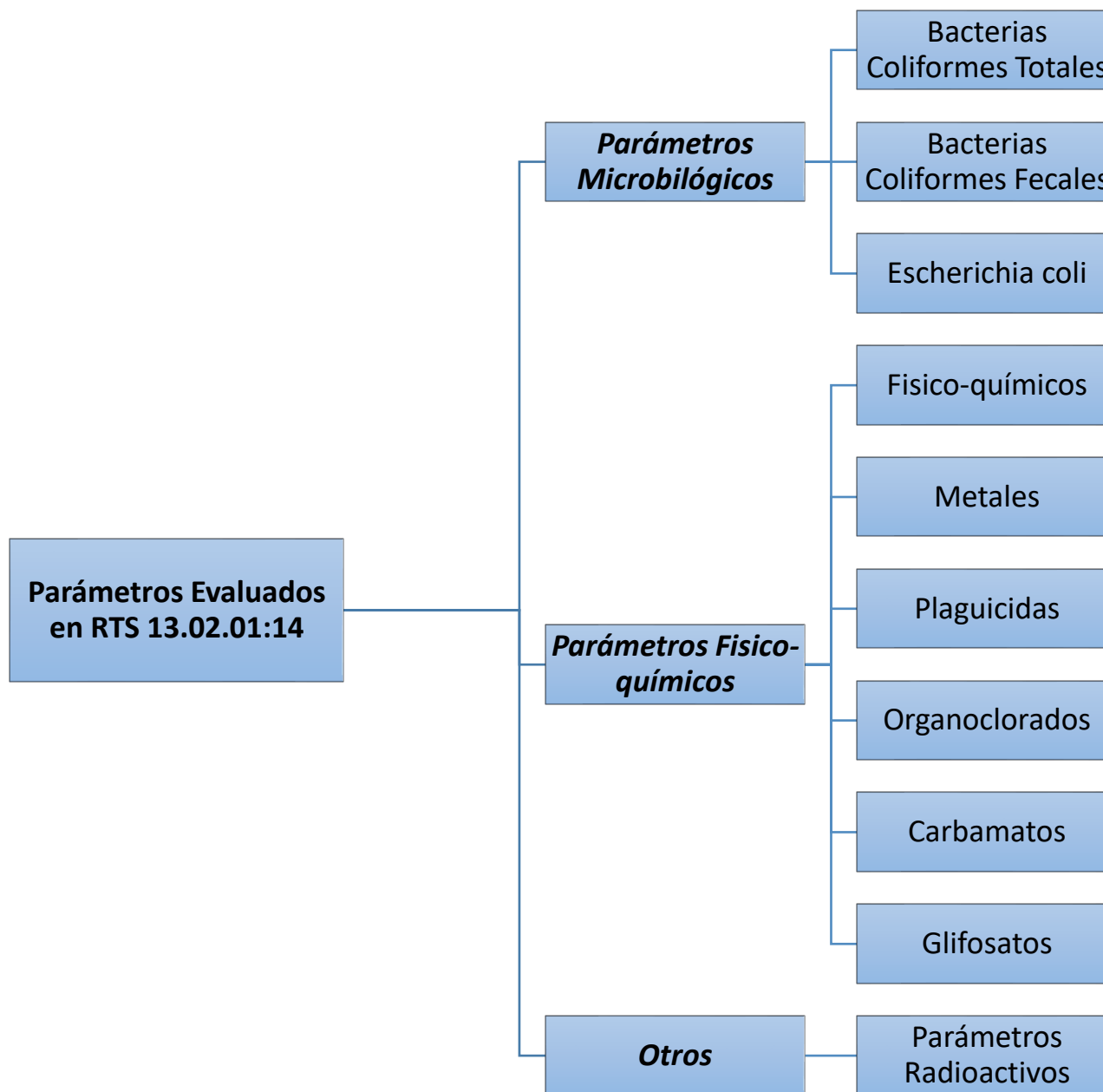


Ilustración 2-3 Parámetros exigidos por el RTS 13.02.01:14

Nota: Adaptado de RTS 13.02.01:14

El Reglamento en su numeral 5.2.3. establece que los parámetros que estén fuera de lo establecido, el administrador del sistema de abastecimiento, debe de dar seguimiento inmediato y tomar medidas correctivas, así como realizar un remuestreo para verificar que los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. (Gobierno de El Salvador, 2018). Es importante enfatizar que existen otros parámetros que solo se analizarán en situaciones especiales y el MINSAL es el encargado de realizarlos y solicitarlos al abastecedor; es importante conocer que, en caso de no existir valores de referencia expresos en el Reglamento, se utilizarán valores de la Guía para la calidad del agua de la OMS, en la edición vigente. (Gobierno de El Salvador, 2018)

El Reglamento menciona los tipos de análisis que se realizan en El Salvador, estos son básico, intermedio y completo, la diferencia entre estos son el número de parámetros estudiados, ver Tabla 2-4. El análisis básico se debe de realizar una vez al mes (12 veces al año); mientras que el análisis intermedio debe de realizarse una vez al año y el análisis completo una vez cada tres años (Gobierno de El Salvador, 2018).

En la Tabla 2-3 se presentan el número de muestras tomadas para un análisis básico, este número es función del número de consumidores totales:

Tabla 2-3 Número de muestras para análisis básico

N°	Población	Muestras al año	Muestra al mes
1	<5000	12	1
2	5000 a 100 000	12 por cada 5000 habitantes	1 por cada 5000 habitantes
3	100 001 a 500 000	12 por cada 10 000 habitantes y 120 muestras adicionales	1 por cada 10 000 habitantes y 10 muestras adicionales
4	>500 000	12 por cada 100 000 habitantes y 180 muestras adicionales	1 por cada 100 000 habitantes y 15 muestras adicionales

NOTA: TOMADA DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

“El MINSAL tiene la potestad de exonerar durante un periodo de tres años, la realización del análisis fisicoquímico en la red de distribución de agua de consumo humano (a excepción del cloro residual) que muestren consistentemente niveles menores a los límites máximos permisibles establecidos en este RTS y no existiere un factor conocido o previsible que pudiera

afectar la calidad e inocuidad del agua. La exoneración en caso de emergencia queda sin efecto.” (Gobierno de El Salvador, 2018), numeral 6.2.5.3. del Reglamento.

Es importante garantizar que el resultado de los análisis sea confiable y que cumplan con los requisitos mínimos de calidad, por esta razón el Reglamento en el numeral 6.4.2. se exige lo siguiente: “Para efecto de control de la calidad e inocuidad del agua de consumo humano por parte del administrador del sistema de agua, se aceptarán análisis realizados en el Laboratorio Nacional de Referencia o laboratorios acreditados que cuenten con acreditación para la determinación a realizar. En aquellos casos en que no se cuente con un laboratorio acreditado para una determinación solicitada, se podrá utilizar un laboratorio acreditado que cumpla con los requisitos establecidos por el organismo de acreditación pertinente, para demostrar la experiencia y capacidad para realizar dicha determinación” (Gobierno de El Salvador, 2018).

Tabla 2-4 Distribución de parámetros para cada uno de los análisis

N°	Parámetro	Básico	Intermedio	Completo
1	Bacterias coliformes totales	X	X	X
2	Bacterias coliformes fecales	X	X	X
3	Escherichia coli	X	X	X
4	Color aparente		X	X
5	Dureza		X	X
6	Olor		X	X
7	pH	X	X	X
8	Sólidos totales disueltos		X	X
9	Sulfatos		X	X
10	Turbidez	X	X	X
11	Aluminio		X	X
12	Antimonio			X
13	Arsénico		X	X
14	Bario			X
15	Boro		X	X

(Continúa)

NOTA: ADAPTADA DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

Tabla 2-4 Distribución de parámetros para cada uno de los análisis (Continuación)

N°	Parámetro	Básico	Intermedio	Completo
16	Cadmio		X	X
17	Cianuro		X	X
18	Cloro residual libre	X	X	X
19	Cobre			X
20	Cromo		X	X
21	Fluoruros			X
22	Hierro		X	X
23	Manganeso		X	X
24	Mercurio			X
25	Níquel			X
26	Nitratos		X	X
27	Nitritos		X	X
28	Plomo		X	X
29	Selenio			X
30	Zinc			X
31	Aldrin/Dialdrin			X
32	DDT/DDD/DDE			X
33	Endosulfan I / Endosulfan II / Endosulfan Sulfato			X
34	Heptacloro			X
35	Hexaclorobenceno			X
36	Lindano			X
37	Carbamatos			X
38	Aldicarb			X
39	Aldicarb sulfóxido			X
40	Aldicarb sulfona			X
41	Carbofurano			X
42	Carbaril			X
43	Metiocarb			X
44	Naftol			X
45	Oxamil			X
46	Metomil			X
47	Propoxur			X
48	Hidroxicarbofuran			X
49	Paracuat			X
50	Dicuat			X
51	AMPA			X
52	Glifosato			X

Nota: Adaptada de RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se realizó muestreo del agua suministrada a los habitantes del cantón Portezuelo que se encuentra a 4.3 km del centro de la ciudad de Santa Ana (según la herramienta Google Earth Pro), se realizó en la fecha 27 de octubre del 2022; además se tomó muestras en dos procesos previos a la distribución (parámetros de control del proceso); las muestras se recolectaron para realizar un análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, según el RTS 13.02.01:14. Luego de la recolección (en el mismo día) se procedió al transporte de las muestras a las instalaciones del laboratorio acreditado ubicado en la ciudad de San Salvador, donde se realizó análisis de distintos parámetros. Con los resultados obtenidos en los análisis se plantearon oportunidades de mejora y soluciones a problemáticas relacionadas en la calidad de agua suministrada a los habitantes del cantón.

3.1 Tipo de Estudio

El estudio es de carácter exploratorio, ya que hasta la fecha de realización del proyecto no hay registro de análisis de calidad de agua realizados en la planta en estudio, es decir, la que abastece al cantón El Portezuelo.

3.2 Descripción de la Planta Potabilizadora

La planta potabilizadora está compuesta por dos pozos de los cuales se extrae el agua que se trata y suministra a la población. Las aguas son almacenadas en un tanque donde luego se distribuyen a las colonias y caseríos.

Las aguas provenientes del pozo 1 no son cloradas previo a su transporte al tanque de almacenamiento. Las aguas del pozo 2 son cloradas previas a su envío a la cisterna para posteriormente ser impulsadas hasta el tanque ubicado en la parte más alta de la colonia A.

El tanque de almacenamiento tarda un día en llenarse (según los operadores de la planta), luego el fluido es enviado durante una hora (hasta que el tanque se vacíe) por gravedad a los distintos hogares de la colonia a la que le corresponde recibir el servicio de agua potable ese día. A continuación, en la ilustración 3-1, se presenta el diagrama de flujo de la planta potabilizadora.

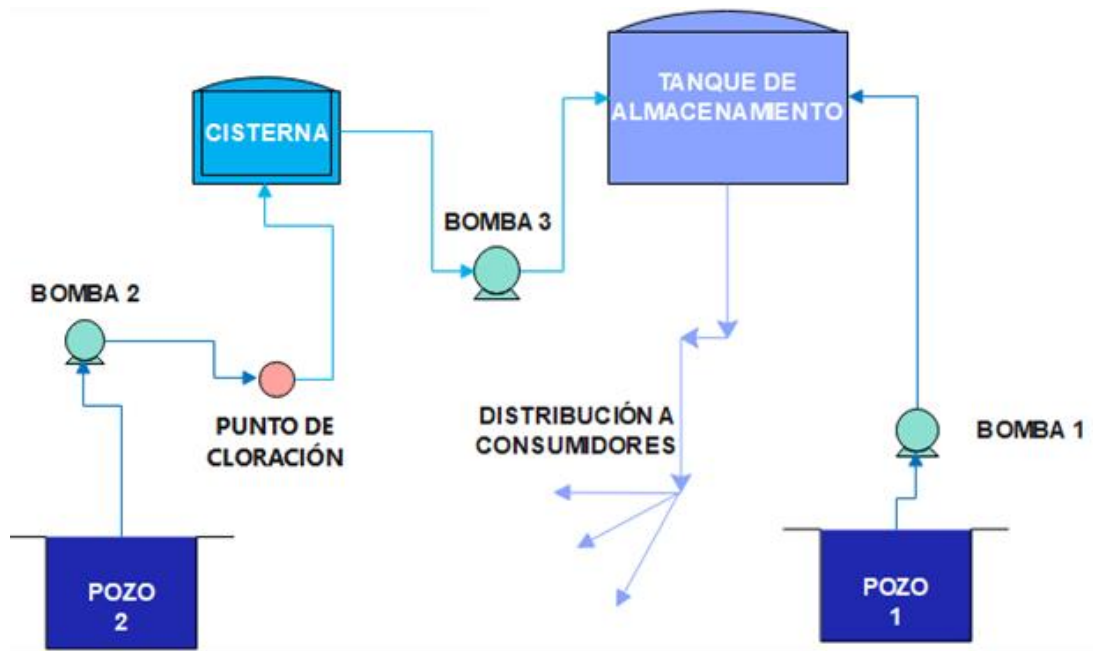


Ilustración 3-1 Diagrama de flujo de planta potabilizadora

3.2.1 Pozo 1

Este pozo dio inicios al proyecto de potabilización, actualmente no posee un medidor de caudal por esto no es posible determinar la cantidad de agua que este aporta al tanque de distribución, aunque aparentemente el aporte es menor al del pozo 2, según lo observado en visita. El agua es transportada por una bomba de 7 HP de potencia (bomba 1), que funciona a una presión de 100 psi (ver ilustración 3-1) el pozo no tiene punto de cloración previa al transporte al tanque de distribución. Para la fecha realizada del estudio el pozo posee una profundidad de 60 m del nivel del agua (dato brindado por los directivos, resultado obtenido de prueba de aforo realizada en septiembre del 2022)



Ilustración 3-2 Manómetro instalado en el pozo 1



Ilustración 3-3 Salida de bomba del pozo 1

3.2.2 Pozo 2

Este pozo tiene una antigüedad aproximada de 15 años, fue perforado con la finalidad de brindar mayor cantidad de agua a los pobladores, el medidor de caudal no se encuentra en funcionamiento, por lo que no se tiene conocimiento de la cantidad de agua suministrada por este pozo; no hay datos de nivel de agua. La bomba que transporta el agua hacia la cisterna tiene una potencia de 10 HP (bomba 2), antes de que el agua llegue a la cisterna pasa por un punto de cloración por arrastre.



Ilustración 3-4 Salida de bomba en pozo 2

3.2.3 Punto de Cloración

La desinfección del agua se da en este punto, en un dosificador (ver ilustración 3-5) donde se coloca una tableta de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$ al 70% p/p (200 g), el dosificador se encuentra conectado al pozo 2 y a la cisterna, dentro de este fluye el agua y esta disuelve la pastilla de forma gradual. La pastilla dura aproximadamente un día.



Ilustración 3-5 Dosificador de pastilla de $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$

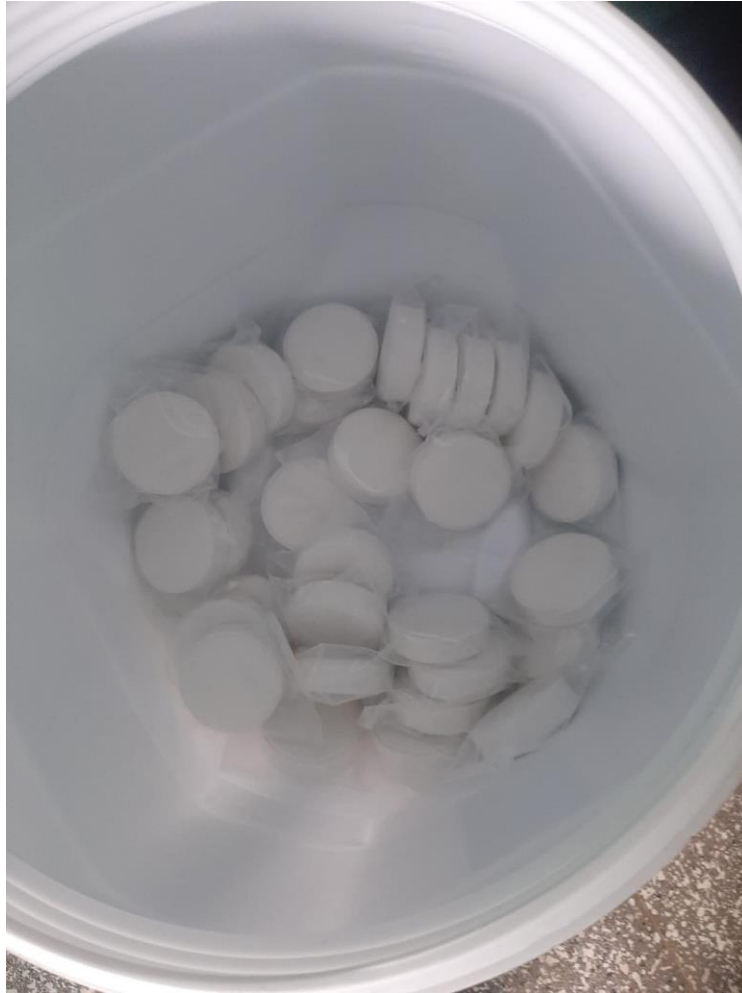


Ilustración 3-6 Tabletas de $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$

3.2.4 Cisterna

Este equipo tiene dimensiones de 2.5 m de ancho, 2.5 m de largo y 3 m de profundidad; teniendo una capacidad máxima de 18.75 m^3 . La finalidad de este equipo es que todo sólido sedimentable que se encuentre en suspensión en el agua proveniente del pozo se precipite por acción de la gravedad. Este equipo almacena provisionalmente el agua proveniente del pozo 2, el llenado de la cisterna dura una hora y media, mientras que el vaciado tarda 2 horas, con un ciclo de 3 horas y media, este ciclo se repite 5 veces al día. El agua que se almacena en la cisterna se transporta al tanque de almacenamiento con el uso de una bomba de 10 HP de potencia (bomba 3).



Ilustración 3-7 Interior de cisterna



Ilustración 3-8 Vista de bomba 3 en el interior de la cisterna

3.2.5 *Tanque de Almacenamiento*

Es el último punto antes de la distribución del agua hacia los consumidores, a este llegan las aguas del pozo 1 y el pozo 2. Está hecho de concreto y ladrillo, tiene unas dimensiones de 8 m de diámetro y 4 m de alto con una capacidad máxima de 201.06 m³, el tanque se llena cada hora y media durante 5 veces al día, no tiene medidor de caudal que sale de este. La descarga del tanque se realiza una vez al día, donde se abren las válvulas que permiten el flujo de agua hacia la colonia a la que le corresponde el servicio. La descarga ocurre por gravedad, no hay bombas conectadas en la salida del tanque. Dentro del tanque hay filtros de carbón activado que tienen la finalidad de eliminar partículas sólidas, uno de estos filtros está en la entrada del agua proveniente del pozo 2 y el otro a la salida del agua del tanque.



Ilustración 3-9 Parte superior del tanque de almacenamiento



Ilustración 3-10 Lateral del tanque de almacenamiento



Ilustración 3-11 Interior del tanque de almacenamiento

3.3 Trabajo de Campo

Se realizó una investigación en el sitio web del OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación), los posibles candidatos a laboratorios de análisis para las muestras de agua se eligieron en base a sus análisis acreditados (mayor número de ensayos acreditados) y su ubicación, siendo ANDA y otro laboratorio acreditado los seleccionados, se discutió con el asesor de tesis y los administradores la planta distribuidora de agua sobre cuáles serían los parámetros a analizar en cada uno de los puntos de muestreo usando como guía el RTS 13.02.01:14, las características del lugar donde se encuentra la planta y la información recolectada por los administradores del proyecto. Durante la conversación con los administradores del proyecto de agua del Cantón El Portezuelo, estos se notaron muy interesados en lo referente al Reglamento Técnico Salvadoreño y su contenido (lo cual permitió el desarrollo del plan de mejora). Se cotizó mediante correo electrónico con ambos laboratorios cuales serían los costos por los análisis y cuánto costaría que ellos llevaran a cabo la toma de muestras, el laboratorio de ANDA fue descartado puesto que no obtuvo mayor información de lo requerido, caso contrario el otro laboratorio acreditado mostro mayor interés en prestar el servicio, sin embargo, aclararon que no podrían realizar la toma de muestras a causa de la distancia entre las instalaciones del laboratorio y los puntos de muestreo; por consecuencia los estudiantes tomaron la decisión conjunta con el asesor y los administradores del sistema de abastecimiento, llevar a cabo el muestreo de forma independiente donde los responsables de realizarlo serían los estudiantes. Para la realización del muestreo se coordinó con los administradores el día y hora de la ejecución de este, se llevó a cabo temprano por la mañana puesto que el servicio de distribución de agua potable da inicio a las 5:00 am, pero a causa del muestreo ese día inicio a las 7:00 am. El primer punto de muestreo fue la cisterna; en este como en los otros puntos se tomaron medidas de los parámetros in-situ (temperatura, pH y concentración de cloro residual libre en ppm); ver anexo E-I, esto para poder identificar cualquier influencia de la temperatura o el tiempo de almacenamiento de la muestra en el resultado de los análisis realizados por el laboratorio, se llenaron las hojas de control (diseñadas por los estudiantes) y luego se procedió a la toma de muestras, el segundo punto de muestreo fue el grifo un hogar ubicado en una de las colonias pertenecientes al Cantón El Portezuelo, se eligió como segundo punto de muestreo debido a

que el servicio de agua se detiene 1 hora después de iniciar el vaciado del tanque y el tercer punto de muestreo fue el tanque de almacenamiento del sistema de abastecimiento de agua.

Inmediatamente después de recolectar todas las muestras, se empacaron los materiales usados y se procedió a desplazarse hacia las instalaciones del laboratorio acreditado ubicado en la ciudad de San Salvador, el transporte que se utilizó fue un vehículo que se había alquilado con un día de antelación, cada uno de los frascos estaba debidamente rotulado con el punto de muestreo de donde se había obtenido el líquido. Se entregaron las muestras al laboratorio a las 10:35 am del mismo día del muestreo y se acordó con el laboratorio que el medio para hacer llegar los resultados sería por correo electrónico (las hojas de resultados de los análisis se encuentran en el anexo F), para facilitar la recepción y reducir costos de transporte.

3.3.1 Número de Muestras a Tomar

Para determinar la cantidad de muestras a recolectar se tomó en cuenta el factor económico en cuanto al presupuesto de los estudiantes designado para el proyecto, puesto que no se contaba con fuentes externas de financiación que permitieran un mayor número de muestras, por lo cual se decidió no realizar un estudio estadístico para determinar el tamaño de la muestra a partir de la población total del Cantón El Portezuelo; se tomó la decisión de realizar un plan de muestreo que involucre tres puntos críticos del sistema de abastecimiento los cuales son: el tanque de almacenamiento, la cisterna y un grifo de la red de distribución ubicado en una colonia perteneciente al Cantón El Portezuelo. El proyecto al tener como objetivo cumplir con los requisitos mínimos en lo que respecta a la calidad del agua establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14; el número de muestras que este exige se encuentra especificado en base a la población (véase Tabla 2-3); en el caso del Cantón El Portezuelo la población es de 3800 habitantes aproximadamente según información brindada por directivos del Cantón, por lo tanto, el número de muestras mínimas exigidas para un análisis básico por el Reglamento es de una. El estudio se enfoca en realizar un análisis básico de la calidad del agua, aunque engloba otros parámetros como trazas de metales, nitratos, nitritos, color aparente, dureza, cloruros y sulfatos, además de un conteo total de bacterias y pseudomonas; todo esto con la finalidad de identificar cualquier contaminación en el sistema. Por la razón del enfoque del proyecto se decidió mantener con una

muestra de grifo así garantizar el cumplimiento con el RTS 13.02.01:14 y también obtener reporte más amplio de la calidad del agua.

3.3.2 Selección de los Puntos de Muestreo

Los puntos de muestreo se encuentran ubicados en El cantón El Portezuelo, jurisdicción del municipio de Santa Ana, departamento de Santa Ana (ver ilustración 3-12 y 3-13), se seleccionaron los siguientes: cisterna, tanque de almacenamiento y un grifo de la Colonia B, las ubicaciones de estos se muestran en la ilustración 3-14.

Detallando los puntos de muestreo:

- a) Cisterna (Punto 1): El muestreo dentro de este equipo es importante como método de control e identificación de posibles contaminantes o problemas en las aguas. Conociendo la calidad del agua en este punto permitirá conocer la influencia del agua proveniente del pozo 1 en el tanque.
- b) Tanque de almacenamiento (Punto 2): La importancia de conocer los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos dentro de este, radica en que es el último proceso antes de ser distribuidas a los habitantes. El muestreo se realizará en un grifo conectado directamente al tanque, el cual se encuentra ubicado en las cercanías de este.
- c) Grifos (Punto 3): Son equipos que se encuentran en los hogares de los habitantes del cantón, ahí radica la importancia en la determinación de los parámetros de calidad ya que esta es consumida por los habitantes y con la finalidad de dar una mejor calidad de vida, esta debe cumplir con los valores determinados por el RTS 13.02.01:14. Se realizará un análisis del agua de un grifo de la colonia A.

Los análisis que se realizaron en los distintos puntos son diferentes, ya que la determinación de los parámetros que exige el RTS 13.02.01:14 es el agua distribuida a los usuarios y no en los procesos intermedios, pero al ser una investigación exploratoria conocer ciertos parámetros en los puntos intermedios permitirá identificar posibles problemas u oportunidades de mejora en el proceso de potabilización. Los análisis que se realizarán en cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Distribución de análisis en los puntos de muestreo

Análisis	Tanque	Cisterna	Grifo
Fisicoquímicos			
pH	X	X	X
Sólidos Totales Disueltos	X	X	X
Dureza Total		X	X
Hierro Total	X		X
Manganeso			X
Cloruros	X		X
Sulfatos	X	X	X
Cromo⁺⁶			X
Plomo			X
Cobre			X
Nitratos	X	X	X
Color aparente			X
Turbidez	X	X	X
Cloro Libre	X	X	X
Zinc			X
Sodio			X
Cadmio			X
Nitritos	X	X	X
Microbiológicos			
Bacterias Coliformes Fecales	X	X	X
Bacterias Coliformes Totales	X	X	X
E. Coli	X	X	X
Conteo Total de Bacterias	X	X	X
Pseudomonas	X	X	X

NOTA: ADAPTADA DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

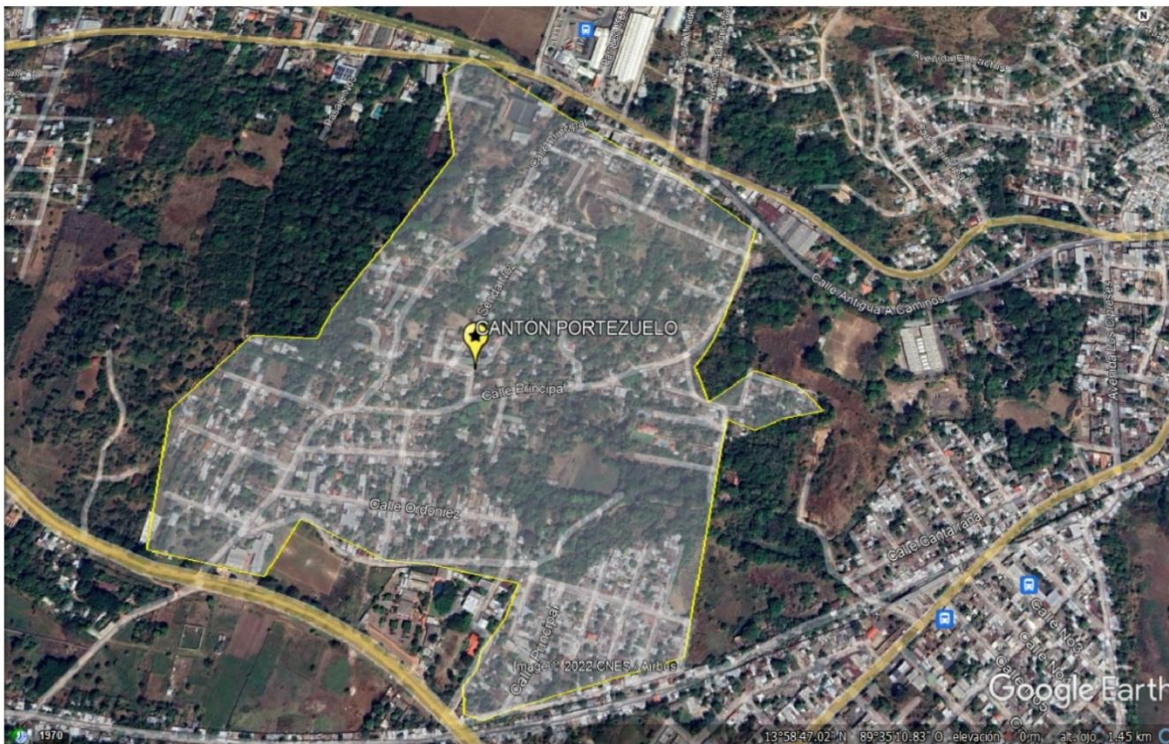
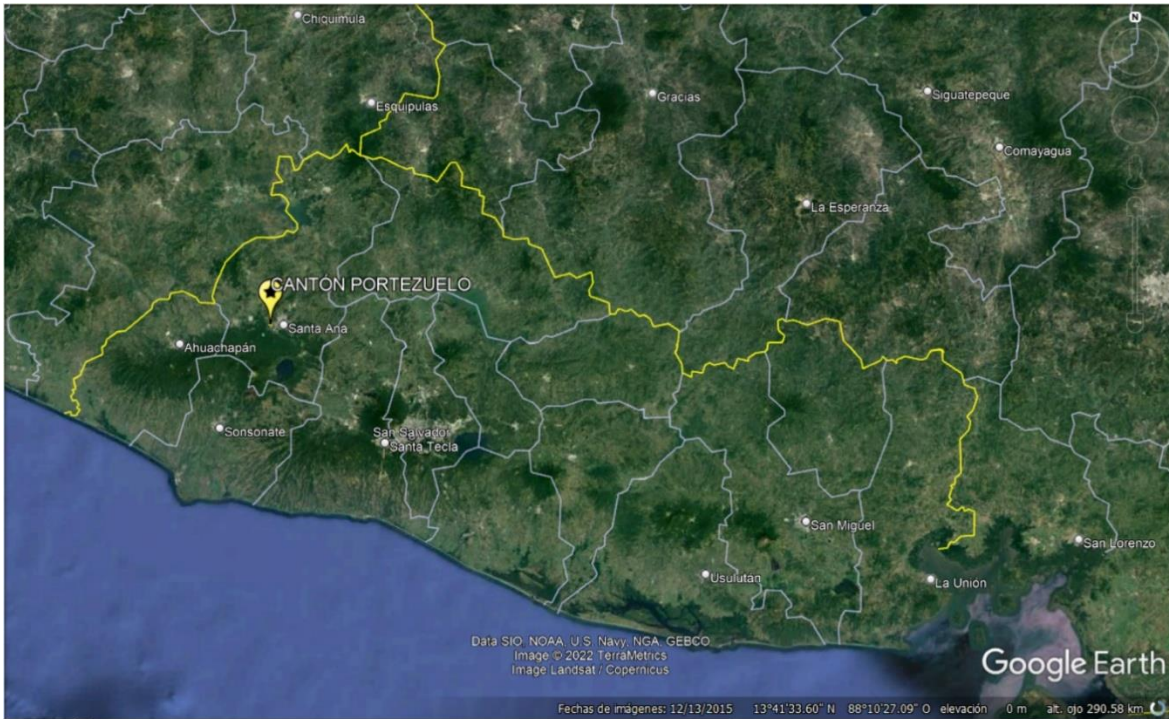


Ilustración 3-12 Ubicación de cantón Portezuelo



Ilustración 3-13 Ubicación de puntos de muestreo

3.3.3 Plan de Muestreo

La marcha para realizar la toma de muestras fue diseñada a partir del trabajo de grado Flores Reyes y Montano Ramírez, en el 2019, de este se tomaron aspectos básicos sobre la limpieza y acondicionamiento de los puntos de muestreo y los instrumentos a utilizar durante el muestreo. Para poder garantizar resultados certeros en los análisis, la marcha toma en cuenta el tipo de material del grifo, tiempo de vaciado de tuberías, llenado de recipientes y transporte de muestras hacia el laboratorio de análisis.

3.3.3.1 Chequeo de Materiales y Equipo

- a) Llenar las hojas de verificación de materiales (Tabla 3-2) y equipo de seguridad (Tabla 3-3), corroborando la presencia de todos los objetos a utilizar.

3.3.3.2 Acondicionamiento de los Puntos de Muestreo

Se exploraron y acondicionaron cada uno de los puntos de muestreo tal como se puede observar en los anexos B, C Y D.

- i. Esterilizar las tomas de agua, limpiándolas con una torunda empapada en alcohol. En los anexos B-II, C-I Y D-II se muestran ilustraciones de los distintos puntos de muestreo donde se realizó este procedimiento.
- ii. Haciendo uso de unas pinzas metálicas sostener otra torunda con alcohol prendida en fuego, flamear la toma (cuando el material de esta lo permita). En los anexos B-III y C-II se muestran ilustraciones de los distintos puntos de muestreo donde se realizó este procedimiento.
- iii. Lavar con agua destilada para retirar los posibles restos de cenizas u otros componentes que pudieren contaminar la muestra. En el anexo B-IV se ilustra este apartado.

3.3.3.3 Toma de Muestras

En los anexos B-VI, C-IV y D-IV se ilustra el muestreo en cada uno de los puntos.

- i. Abrir la llave del grifo y dejar fluir entre 1 a 3 minutos.
- ii. Llenar el frasco hasta desbordar para extraer todo el aire contenido en el recipiente teniendo cuidado de que este no entre en contacto con el grifo.
- iii. Tapar cuidadosamente el frasco.
- iv. Limpiar el exterior del frasco y llenar la etiqueta de la muestra.
- v. Llenar las hojas de información básica de la muestra.
- vi. Guardar la muestra en el porta-muestras.

3.3.3.4 Parámetros In-Situ

Para medir los parámetros in-situ es necesario tomar una muestra de menor volumen, en un frasco de vidrio de 150 ml, tomar agua directamente del grifo para acondicionar

y luego llenarlo. Los resultados se anotaron en las hojas de información básica del muestreo, ver Tabla 3-4 o anexo E-I

I. Medición de Temperatura

En los anexos B-VII, C-V, C-VI y D-V se presentan ilustraciones concernientes a este procedimiento

- a) Preparar el termómetro digital. (Ilustración 3-14)
- b) Introducir la sonda en el frasco.
- c) Esperar unos segundos y anotar la magnitud en la etiqueta de muestra.



Ilustración 3-14 Termómetro digital

II. Medición de pH

En los anexos B-XI, C-VII, C-VIII, D-VI, D-VII se presentan ilustraciones concernientes a este procedimiento

- a) Introducir la tira indicadora en la muestra. (Ilustración 3-15)

- b) Leer la magnitud en base a la escala de color y anotarla en la etiqueta de la muestra.



Ilustración 3-15 Tiras indicadoras de pH

Nota: tomada de: <https://novoagua.com/producto/tiras-reactivas-hach-5-en-1-aquachek/>

III. Medición de Cloro Residual Libre

En los anexos B-VIII, B-IX, B-X, C-IX, C-X, C-XI, D-VIII, D-IX se presentan ilustraciones concernientes a este procedimiento

- a) Agregar parte de la muestra en los dos tubos de ensayo por medio de una pipeta.
- b) Colocar el reactivo a uno de los tubos de ensayo (DPD).
- c) Introducir los tubos de ensayo en el comparador cromático. (Ilustración 3-16)
- d) Leer la magnitud de la concentración de cloro mediante el mecanismo del comparador cromático.



Ilustración 3-16 Comparador cromático

Nota: tomada de: <https://biomars.pe/producto/kit-de-comparador-de-cloro-libre-tipo-disco-hach-cn-66f/>

3.3.3.5 Coordinación para Transporte

- a) Colocar cada uno de los frascos contenedor adecuado.
- b) Depositar los contenedores en el transporte.
- c) Realizar traslado desde los puntos de muestreo ubicados en Cantón El Portezuelo, Santa Ana hasta las instalaciones del laboratorio acreditado en la Ciudad de San Salvador.
- d) Verificar que las muestras viajen seguras.

Tabla 3-2 Verificación de materiales y equipo utilizados en el muestreo




		Lista de materiales	
		Plan de muestreo de agua potable	
		Facultad de Ingeniería y Arquitectura.	
		Universidad de El Salvador	
		Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos	
N°	Cantidad	Material	Si/No
1	1	Termómetro digital	
2	3	Frascos de polietileno para análisis microbiológico	
3	4	Frascos para análisis fisicoquímico	
4	1	Papel tornasol	
5	4	Pares de guantes de látex	
6	2	Marcadores permanentes	
7	1	Cinta adhesiva	
8	2	Rollos de papel toalla	
9	1	Frasco lavador	
10	1	Gotero/Jeringa de 10 ml	
11	1	Frasco de alcohol éflico	
12	1	Caja de algodón	
13	1	Par de pinzas	
14	1	Galón de agua destilada	
15	3	Kit de papelería	
16	3	Frascos para mediciones in-situ	
17	3	Cajas portamuestras	
18	1	Equipo de medición de cloro	
19	1	Reactivo para medición de cloro residual libre (DPD)	

Tabla 3-3 Hoja de chequeo de equipo de seguridad

	Equipo de seguridad
	Plan de muestreo de agua potable
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador
	Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos

N°	Equipo	Si	No
1	Gabacha		
2	Guantes de látex		
3	Mascarilla		
4	Zapatos cerrados, no lisos		

Tabla 3-4 Hoja de información básica de muestras

	Información básica del muestreo
	Plan de muestreo de agua potable
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador
	Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos

Temperatura del ambiente:
Ubicación:
Hora de muestreo:
Material de envase:
Volumen de la muestra:
Cloro Residual Libre:
Temperatura de muestra:
pH de la muestra:
Tipo de conservación de la muestra:
Responsable del muestreo:
Firma:
Fecha del muestreo:

CAPÍTULO 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En la presentación de los resultados obtenidos se muestran inicialmente los parámetros in-situ, los cuales fueron tomados en los tres puntos de muestreo (Tabla 4-1) las unidades de cada parámetro se encuentran indicadas, donde no se haya medido un parámetro se muestra un guion “-” al igual que en donde un parámetro no tenga unidades. A partir de las hojas de resultados de las muestras enviadas al laboratorio acreditado (ver anexo F) se elaboró una tabla resumen de estos datos la cual se presenta en la Tabla 4-2 y de forma extendida con todos los cálculos estadísticos en el Anexo E-IV

Tabla 4-1 Parámetros medidos in-situ

N°	Parámetro	Cisterna	Tanque	Grifo	Unidades
1	Temperatura ambiente	21.2	22.5	22.4	°C
2	Temperatura de muestra	30.2	24.1	29.0	°C
3	Cloro residual libre	0.8	0.4	0.2	ppm
4	pH	6.8	7.5	7.0	-

Tabla 4-2 Valores de parámetros enviados a análisis en laboratorio acreditado

N°	Análisis	Cisterna	Tanque	Grifo	Unidades
1	pH	6.79 (a 23.5 °C)	7.13 (a 23.5 °C)	7.19 (a 23.4 °C)	-
2	Sólidos Totales Disueltos	142.00	140.00	136.00	ppm
3	Nitratos	9.00	8.00	7.70	ppm
4	Turbidez	0.10	0.10	0.10	NTU
5	Dureza Total	60.00	58.00	56.00	ppm
6	Hierro Total	<0.12	<0.12	<0.12	ppm
7	Manganeso Total	<0.05	<0.05	<0.05	ppm
8	Sulfatos	7.00	5.80	5.00	ppm
9	Nitritos	<0.003	<0.003	<0.003	ppm
10	Cloro Residual	1.10	0.60	0.60	ppm
11	Cromo ⁽⁺⁶⁾	-	-	<0.05	ppm

(Continúa)

**Tabla 4-2 Valores de parámetros enviados a análisis en laboratorio acreditado
(Continuación)**

N°	Análisis	Cisterna	Tanque	Grifo	Unidades
12	Cloruros	-	-	<2.70	ppm
13	Plomo	-	-	<3.20x10 ⁻⁴	ppm
14	Cadmio	-	-	<1x10 ⁻⁵	ppm
15	Cobre	-	-	<0.03	ppm
16	Color aparente	-	-	<3.60	Unidades Pt-Co
17	Sodio	-	-	12.00	ppm
18	Zinc	-	-	<0.008	ppm
19	Bacterias coliformes totales	<1.1	<1.1	<1.1	NMP/100 mL
20	Bacterias coliformes fecales	<1.1	<1.1	<1.1	NMP/100 mL
21	Escherichia Coli	<1.1	<1.1	<1.1	NMP/100 mL
22	Conteo Total de Bacterias	<1	<1	<1	UFC/ mL
23	Pseudomonas aeruginosa	Ausente	Ausente	Ausente	-

NOTA: ADAPTADA DE RTS 13.02.01:14 AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados presentados en el capítulo 4, se presenta un análisis con parámetros de estadística descriptiva (para los tres puntos de muestreo) donde se calcula la media aritmética, la desviación estándar y su coeficiente de variación con la finalidad de observar el comportamiento general de los valores en los parámetros en el proceso de potabilización. Además, se realiza una comparación de los valores reportados de cada parámetro con respecto a los Límites Máximos Permisibles del Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, para esto se calcula el porcentaje de alejamiento del valor obtenido con respecto al LMP (Límite Máximo Permisible). A partir de los problemas detectados y el análisis de calidad del agua se procedió a elaborar un plan de mejora para solucionar los problemas y oportunidades de mejora identificadas en la planta.

5.1 Cálculos

Para realizar un análisis cuantitativo de los parámetros in-situ (ver Tabla 4-1 o Anexo E-I) y los valores reportados por laboratorio el acreditado (se muestran en Tabla 4-2 o Anexo E-IV) se procesaron los datos haciendo uso de medidas de tendencia central y de dispersión (media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación) con la finalidad de conocer de forma más amplia el comportamiento de los parámetros en las etapas intermedias del proceso de potabilización. Parte de los objetivos de investigación es identificar y formular acciones que brinden una mejora al sistema de potabilización en lo referente a la calidad del agua basándose en el RTS 13.02.01:14, por esta razón fue calculado el porcentaje de alejamiento del parámetro medido respecto a los límites máximos permisibles.

5.1.1 Cálculos estadísticos

En el presente estudio, se realizó un análisis estadístico para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cada parámetro consta de 3 mediciones, dada la cantidad de datos fue utilizada una media aritmética simple como medida de tendencia central, la desviación estándar y el coeficiente de variación para conocer la variabilidad y dispersión de los parámetros en los puntos críticos del sistema. En el anexo E-IV se presenta una tabla resumen con las

mediciones para cada uno de los de los parámetros en cada uno de los 3 puntos seleccionados y sus correspondientes cálculos estadísticos

5.1.1.1 Media aritmética

A partir de los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se calculó el promedio según la ecuación 5-1 (para valores discretos). En lo que respecta a este estudio se calculara para 3 puntos críticos del sistema (cisterna, tanque y grifo).

Ecuación 5-1

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

I. Ejemplo de cálculo.

Tomando el conjunto de datos de la tabla 4-1 numeral 2; Sólidos disueltos totales, su media aritmética se calcula así:

$$\bar{x}_{SDT} = \sum_{i=1}^3 \frac{x_{SDT}}{n} = \frac{142 + 140 + 136}{3} \rightarrow \bar{x} = 139.33 \text{ ppm}$$

5.1.1.2 Desviación estándar

A partir de los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se calculó la desviación respecto a la media aritmética según la ecuación 5-2 (para valores discretos). En lo que respecta a este estudio se calculó para 3 puntos críticos del sistema (cisterna, tanque y grifo).

Ecuación 5-2

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

I. Ejemplo de cálculo

Tomando el promedio calculado en el numeral 5.1.1.1.I y el conjunto de datos de la tabla 4-1 numeral 2; Sólidos disueltos totales, su desviación estándar se calculó así:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{(x_{SDT} - \bar{x}_{SDT})^2}{3}}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{(142 - 139.33)^2 + (140 - 139.33)^2 + (136 - 139.33)^2}{3}}$$

$$\sigma = 2.49 \text{ ppm}$$

5.1.1.3 Coeficiente de variación

A partir de la desviación estándar y la media aritmética de cada parámetro, se calculó el coeficiente de variación según la ecuación 5-3 (para valores discretos). En lo que respecta al estudio se calculó para 3 puntos críticos del sistema (cisterna, tanque y grifo).

Ecuación 5-3

$$\%C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

I. Ejemplo de cálculo

Tomando el promedio calculado en el numeral 5.1.1.1.I y la desviación estándar calculada en el numeral 5.1.1.2.I, su coeficiente de variación se calculó de la siguiente manera:

$$\%C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 = \frac{2.49 \text{ ppm}}{139.33 \text{ ppm}} \times 100 \rightarrow \%C.V. = 1.79\%$$

5.1.2 Porcentaje de alejamiento del parámetro respecto a los límites máximos permisibles.

Este dato se calculará a partir de los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el grifo y los límites máximos permisibles según el RTS 13.02.01:14, matemáticamente según la ecuación 5-4 (para valores discretos).

Ecuación 5-4

$$\%Alejamiento = \frac{x_{LMP} - x_i}{x_{LMP}} \times 100$$

5.1.2.1 Ejemplo de cálculo

Tomando la concentración total de sólidos disueltos en el grifo de la tabla 4-1 numeral 2 y el límite máximo permisible para dicho parámetro según el RTS 13.02.01:14, su porcentaje de alejamiento respecto a LMP se calcula de la siguiente manera:

$$\%Alejamiento_{SDT} = \frac{x_{LMP} - x_{SDT}}{x_{LMP}} \times 100 = \frac{1000 \text{ ppm} - 136 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} \times 100$$

$$\%Alejamiento_{SDT} = 86.4\%$$

5.1.3 Porcentaje de variación in-situ vs parámetro de laboratorio

Este parámetro es definido como el porcentaje de variación de los parámetros medidos al momento de tomar la muestra contra el parámetro determinado en el laboratorio; en los anexos E-II y E-III se resumen los resultados de la comparativa entre estos parámetros, matemáticamente se define de la siguiente manera:

Ecuación 5-5

$$\%Var = \frac{x_{lab} - x_{in-situ}}{x_{lab}} \times 100$$

5.1.3.1 Ejemplo de cálculo

Los datos de la concentración de cloro residual libre medido in-situ en el punto de muestreo 3 (grifo), se obtienen de la tabla 4-1 numeral 3 y la concentración reportada por el laboratorio se obtiene de la tabla 5-2 numeral 10, el porcentaje de variación se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%Var = \frac{0.6 - 0.2}{0.6} \times 100 \rightarrow \%Var = 66.67\%$$

5.2 Análisis de parámetros medidos

En el presente apartado, se presentan los resultados de cada parámetro medido, el resultado de los cálculos estadísticos y su porcentaje de alejamiento junto a su respectivo análisis. La metodología de cálculo para todos se presenta en el apartado 5.1. Las gráficas se elaboraron con los resultados de los análisis mostrados en la Tabla 4-2 y en el anexo E-IV

5.2.1 Parámetros fisicoquímicos

5.2.1.1 pH

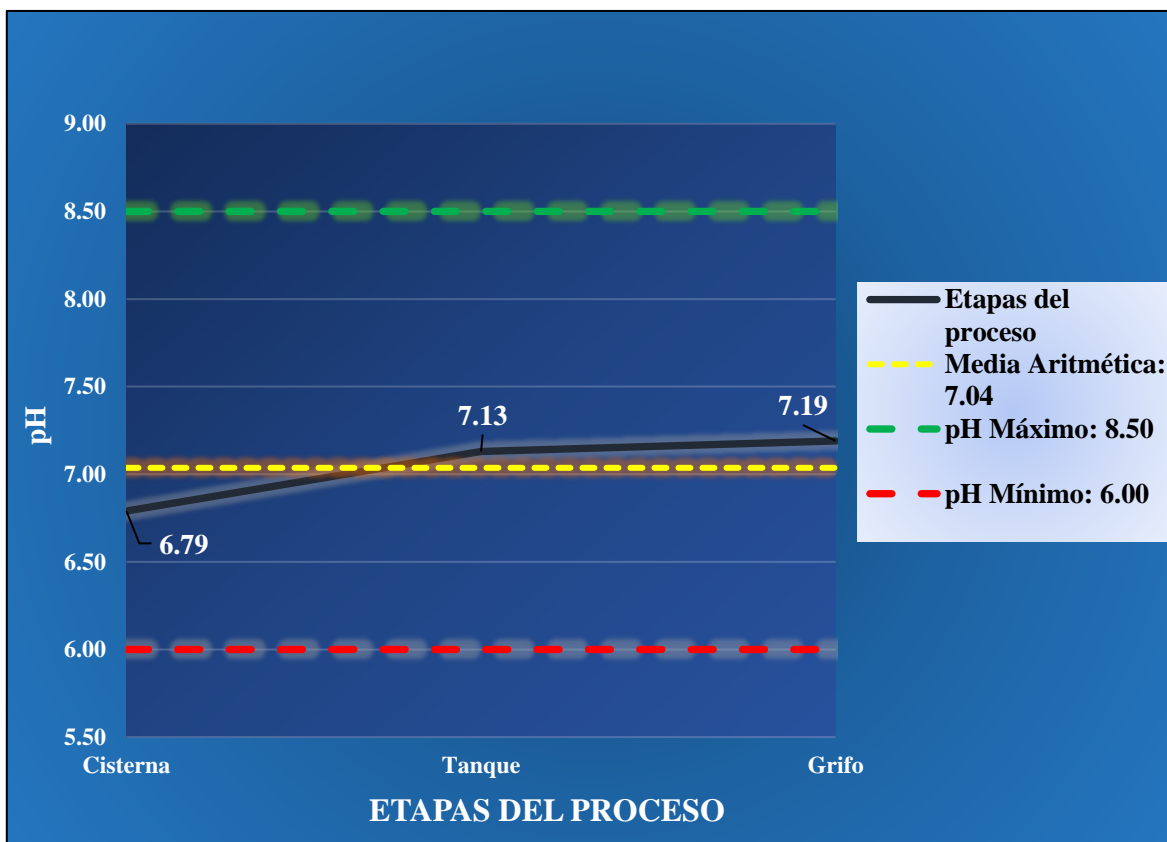
Los análisis in-situ se llevaron a cabo haciendo uso de papel tornasol como indicador, los resultados fueron de 6.8, 7.5 y 7 para la cisterna, el tanque y el grifo respectivamente, según lo muestra la tabla 4-1 numeral 4. El pH promedio es de 7.1 con una desviación estándar de 0.29 y un coeficiente de variación del 4% (ver Anexo E-IV) lo que muestra que hay una baja variabilidad en los resultados obtenidos para este parámetro.

En los resultados de los análisis de laboratorio para el pH, se calculó la media aritmética obteniéndose un valor de 7.04 con una desviación estándar de 0.18 y un coeficiente de variación de 2.50% lo que indica que el conjunto de datos tiene poca variabilidad con relación a su media aritmética (ver Anexo E).

Al comparar los resultados obtenidos in-situ con los reportados por el laboratorio se observa que hay leves diferencias tal como lo muestra el anexo E-II, los porcentajes de variación son de -0.15%, -5.19% y 2.64% para la cisterna, el tanque y el grifo respectivamente (ver Anexo

E-III); estos fueron calculados mediante la ecuación 5.5, cuando el porcentaje es negativo indica que el dato reportado por el laboratorio es menor que el medido in-situ y cuando el porcentaje es positivo indica que el dato reportado por el laboratorio es mayor que el medido in-situ.

Tal como podemos observar en la gráfica 5-1 el comportamiento del pH en las diferentes etapas del proceso es creciente puesto que en cada etapa siguiente en el proceso su valor es mayor que la anterior, siendo sus valores de 6.79 en la cisterna, 7.13 en el tanque y 7.19 en el grifo. El pH en el grifo se encuentra dentro del rango del límite permisible de 6.0-8.5 establecido en el RTS 13.02.01:14.



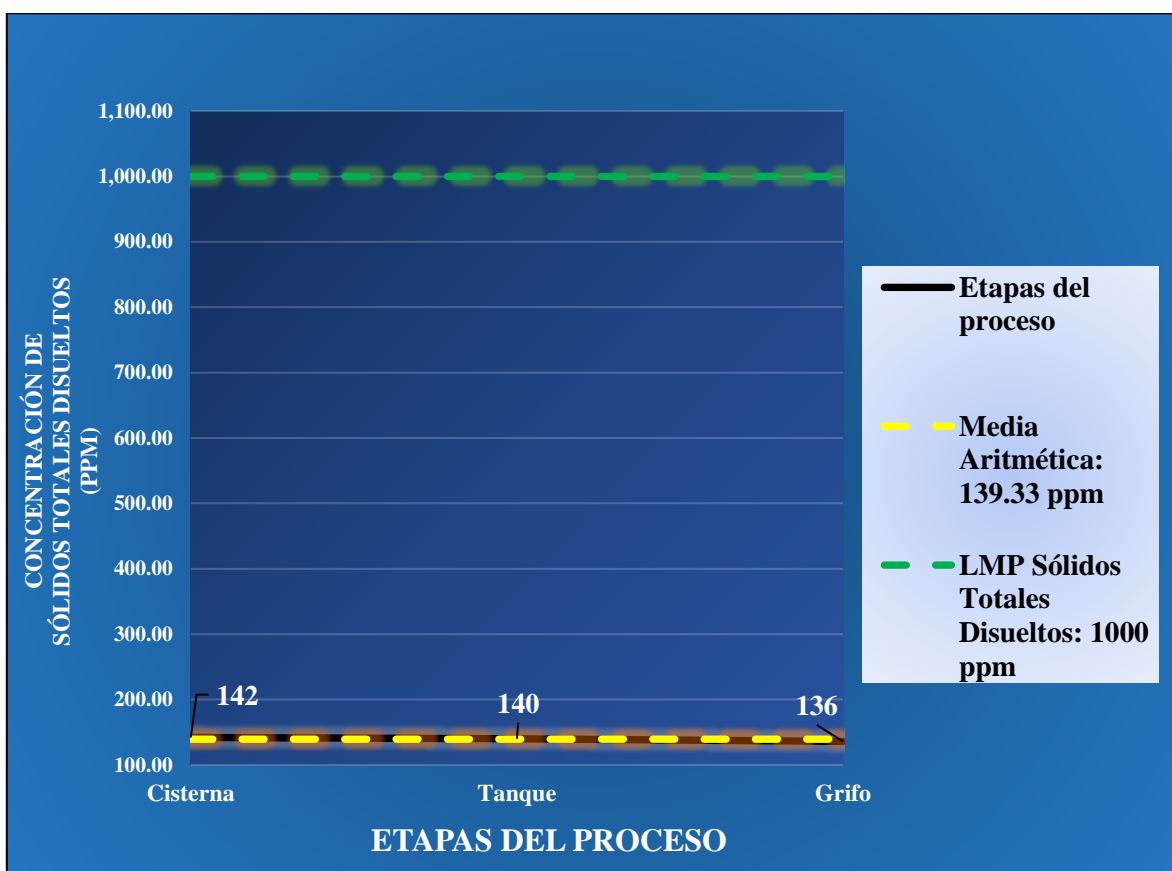
Gráfica 5-1 Variación de pH en las Etapas del Proceso

5.2.1.2 Sólidos Totales Disueltos.

Los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión para este parámetro en los 3 puntos de muestreo fueron: media aritmética 139.33 ppm con una desviación estándar de

2.49 ppm y un coeficiente de variación de 1.79% lo que indica que el conjunto de datos tiene poca variabilidad en relación a su media aritmética.

Tal como podemos observar en la gráfica 5-2 el comportamiento de la concentración total de sólidos disueltos es decreciente puesto que en cada etapa anterior en el proceso el valor determinado es superior, siendo los datos obtenidos de 142 ppm en la cisterna, 140 ppm en el tanque y 136 ppm en el grifo. La concentración en el grifo se encuentra un 86.4% por debajo del límite máximo permisible de 1000 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



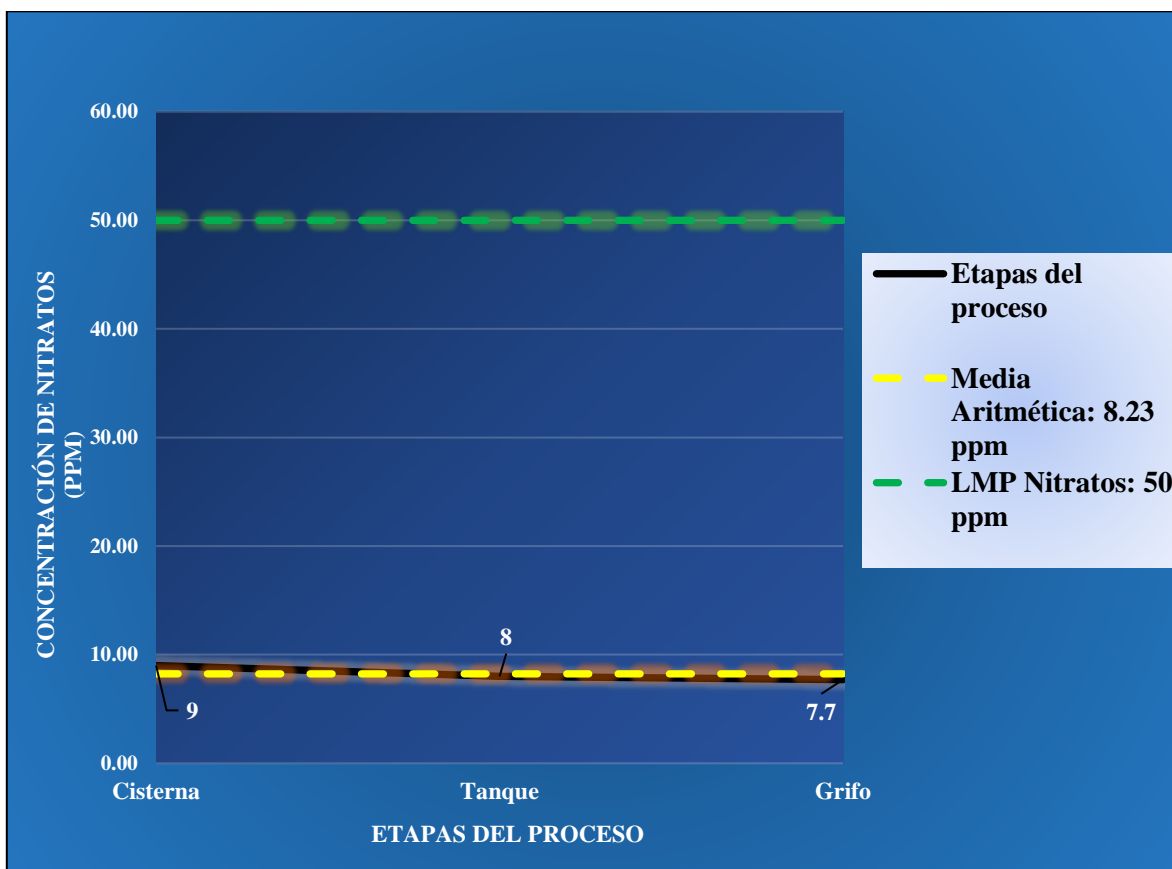
Gráfica 5-2 Variación de Sólidos Totales Disueltos en las Etapas del Proceso

5.2.1.3 Nitratos.

Los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión para este parámetro en los 3 puntos de muestreo fueron: media aritmética 8.23 ppm con una desviación estándar de 0.56

ppm y un coeficiente de variación de 6.75% lo que indica que el conjunto de datos tiene poca variabilidad en relación a su media aritmética.

Tal como podemos observar en la gráfica 5-3 el comportamiento de la concentración de nitratos es decreciente puesto que en cada etapa es menor que la anterior, siendo sus valores de 9 ppm en la cisterna, 8 ppm en el tanque y 7.7 ppm en el grifo. La concentración en el grifo se encuentra un 84.6% por debajo del límite máximo permisible de 50 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

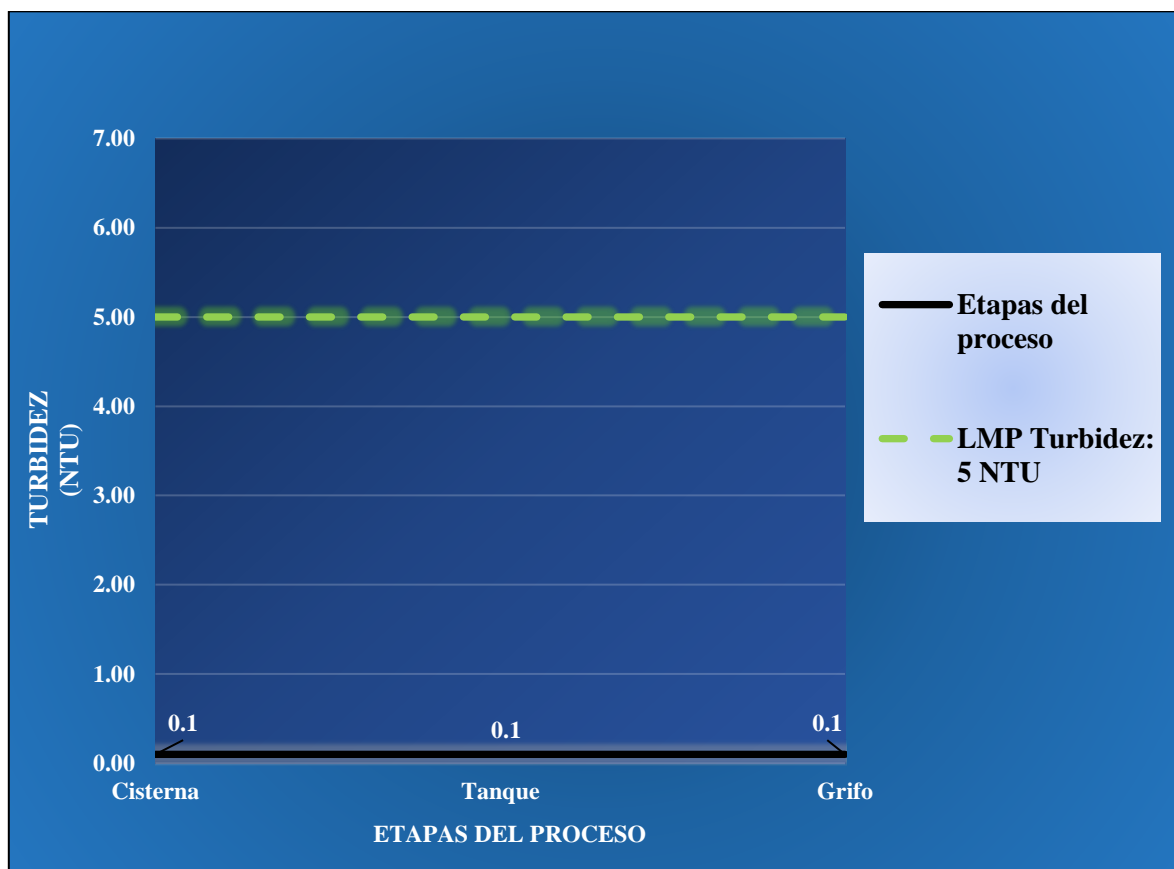


Gráfica 5-3 Variación de Nitratos en las Etapas del Proceso

5.2.1.4 Turbidez

Tal como podemos observar en la gráfica 5-4 el comportamiento de la turbidez en cada una de las etapas se mantiene constante y su valor es de 0.1 NTU, la turbidez en el grifo se

encuentra un 98% por debajo del límite máximo permisible de 5 NTU establecido en el RTS 13.02.01:14.

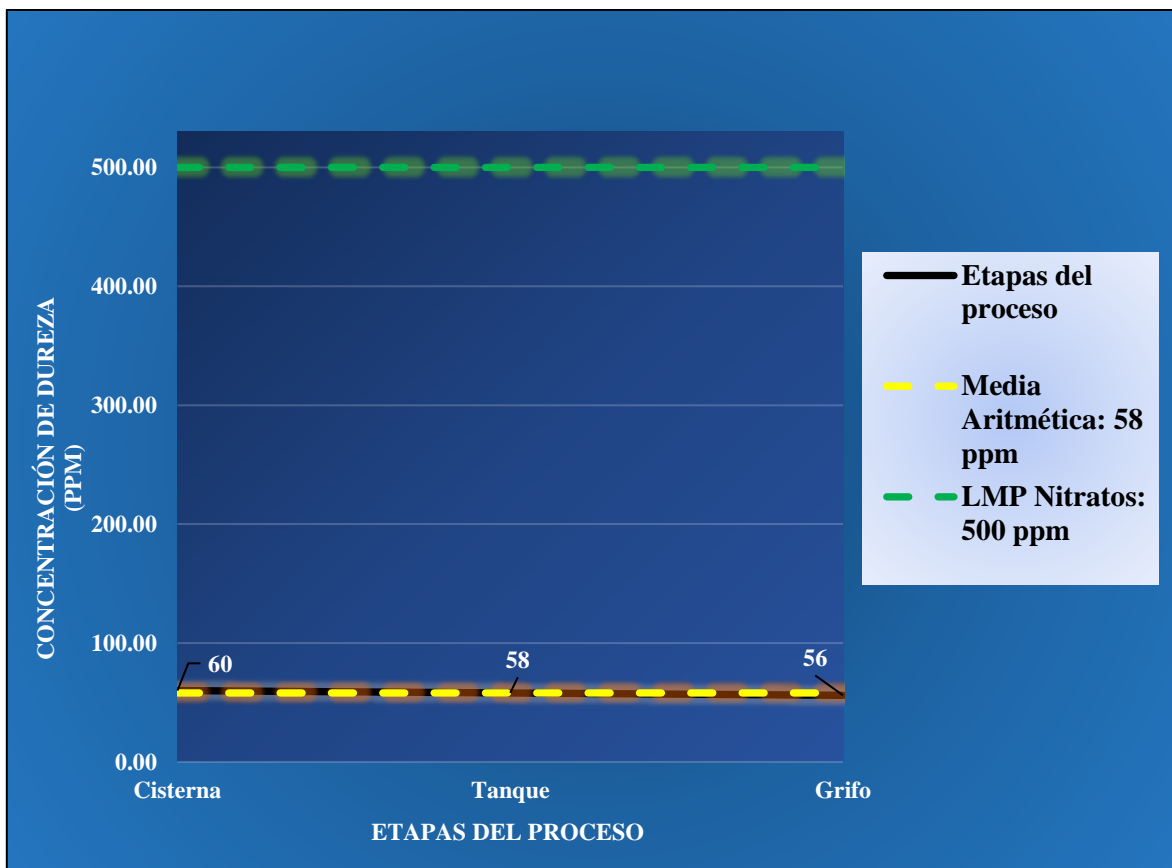


Gráfica 5-4 Variación de Turbidez en las Etapas del Proceso

5.2.1.5 Dureza total

Los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión para este parámetro en los 3 puntos de muestreo fueron: media aritmética 58 ppm con una desviación estándar de 1.63 ppm y un coeficiente de variación de 2.82% lo que indica que el conjunto de datos tiene poca variabilidad en relación a su media aritmética.

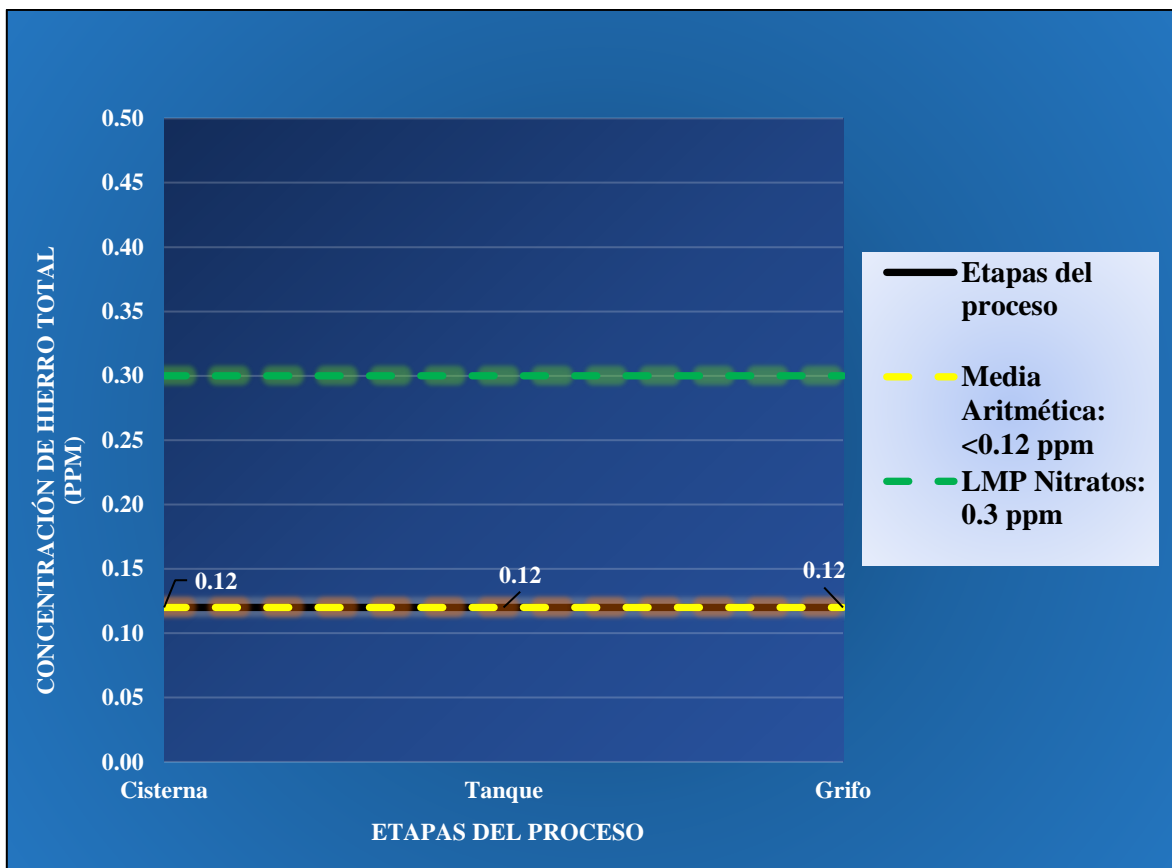
Tal como podemos observar en la gráfica 5-5 el comportamiento de la concentración de nitratos es decreciente puesto que en cada etapa anterior en el proceso su valor es menor que la anterior, siendo sus valores de 60 ppm en la cisterna, 58 ppm en el tanque y 56 ppm en el grifo. La concentración en el grifo se encuentra un 88.8% por debajo del límite máximo permisible de 500 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



Gráfica 5-5 Variación de Dureza Total en las Etapas del Proceso

5.2.1.6 Hierro Total

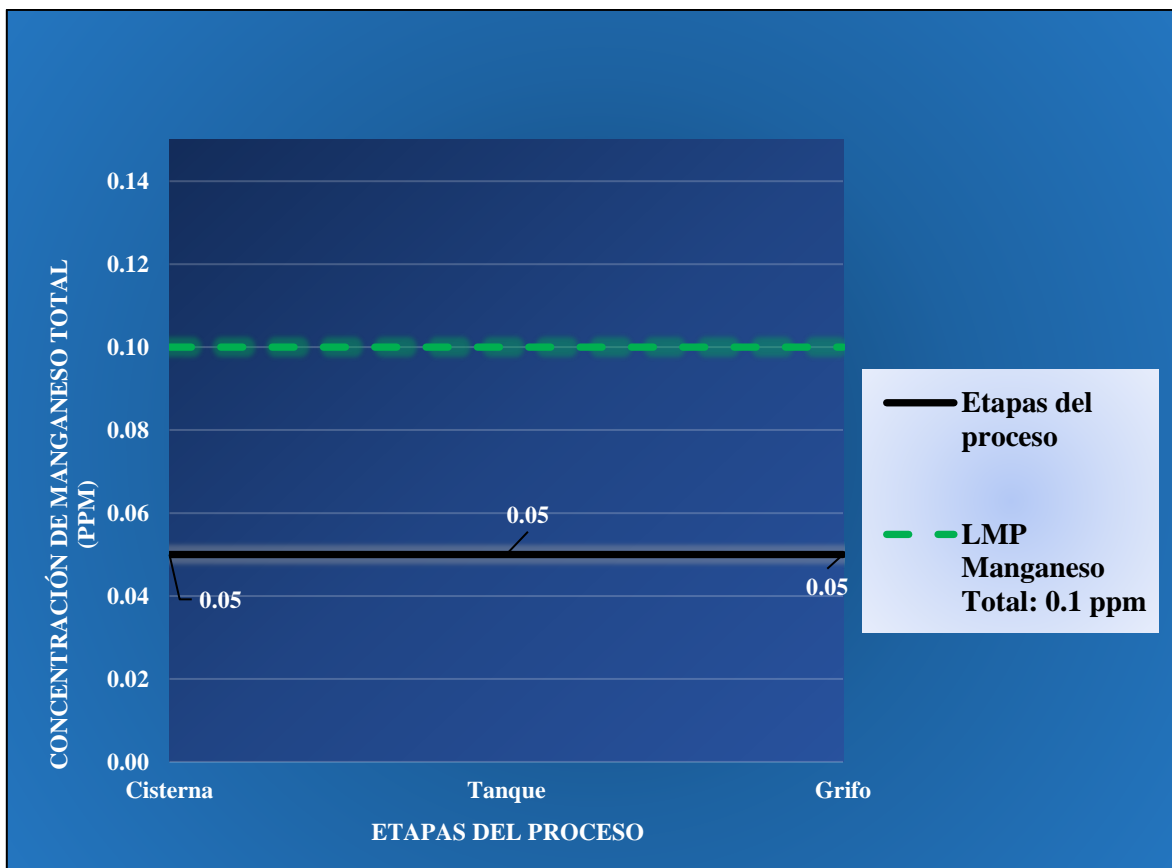
Tal como podemos observar en la gráfica 5-6 el comportamiento de la concentración de hierro total en cada una de las etapas no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración en todas las etapas se mantiene por debajo de 0.12 ppm, la concentración en el grifo se encuentra como mínimo un 60% por debajo del límite máximo permisible de 0.3 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



Gráfica 5-6 Variación de Hierro Total en las Etapas del Proceso

5.2.1.7 Manganeso Total

Tal como podemos observar en la gráfica 5-7 el comportamiento de la concentración de manganeso total en cada una de las etapas no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración en todas las etapas se mantiene por debajo de 0.05 ppm, la concentración en el grifo se encuentra como mínimo un 50% por debajo del límite máximo permisible de 0.1 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

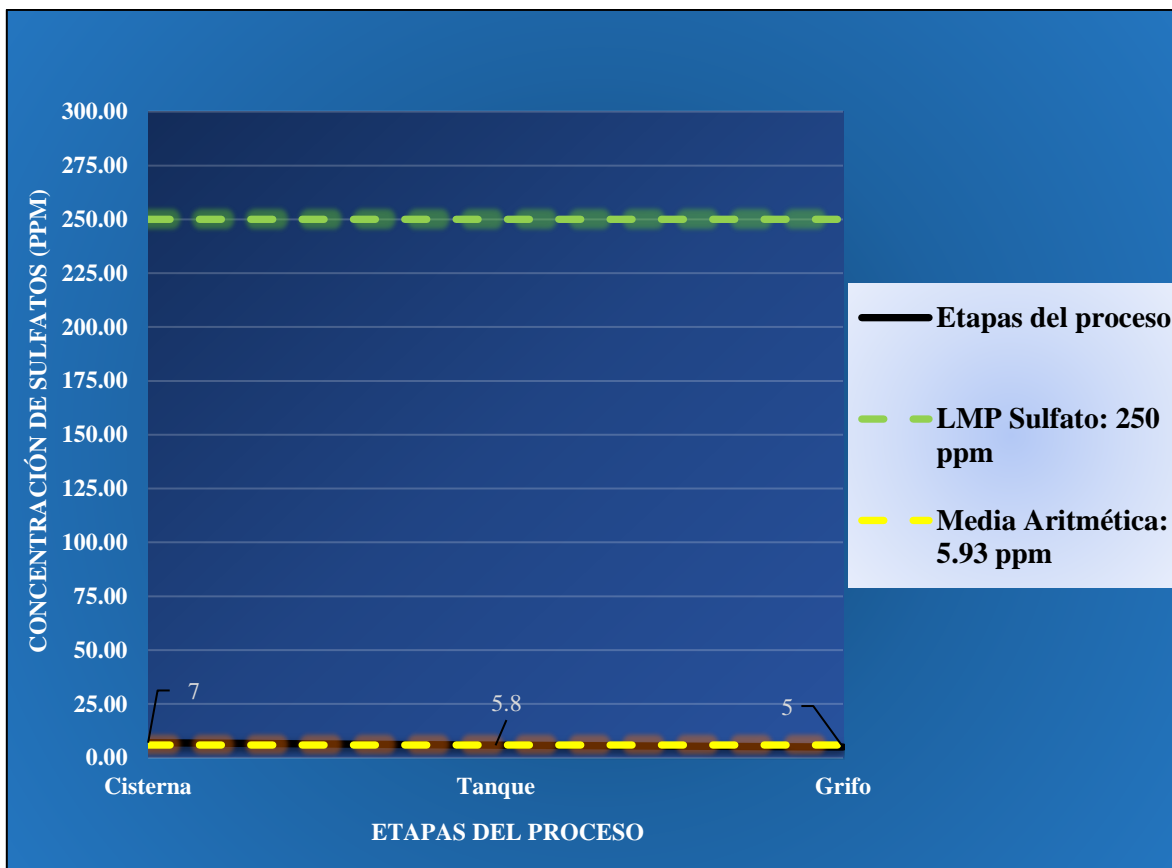


Gráfica 5-7 Variación de Manganeso Total en las Etapas del Proceso

5.2.1.8 Sulfatos

Los resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión para este parámetro en los 3 puntos de muestreo fueron: media aritmética 5.93 ppm con una desviación estándar de 0.82 ppm y un coeficiente de variación de 13.85%.

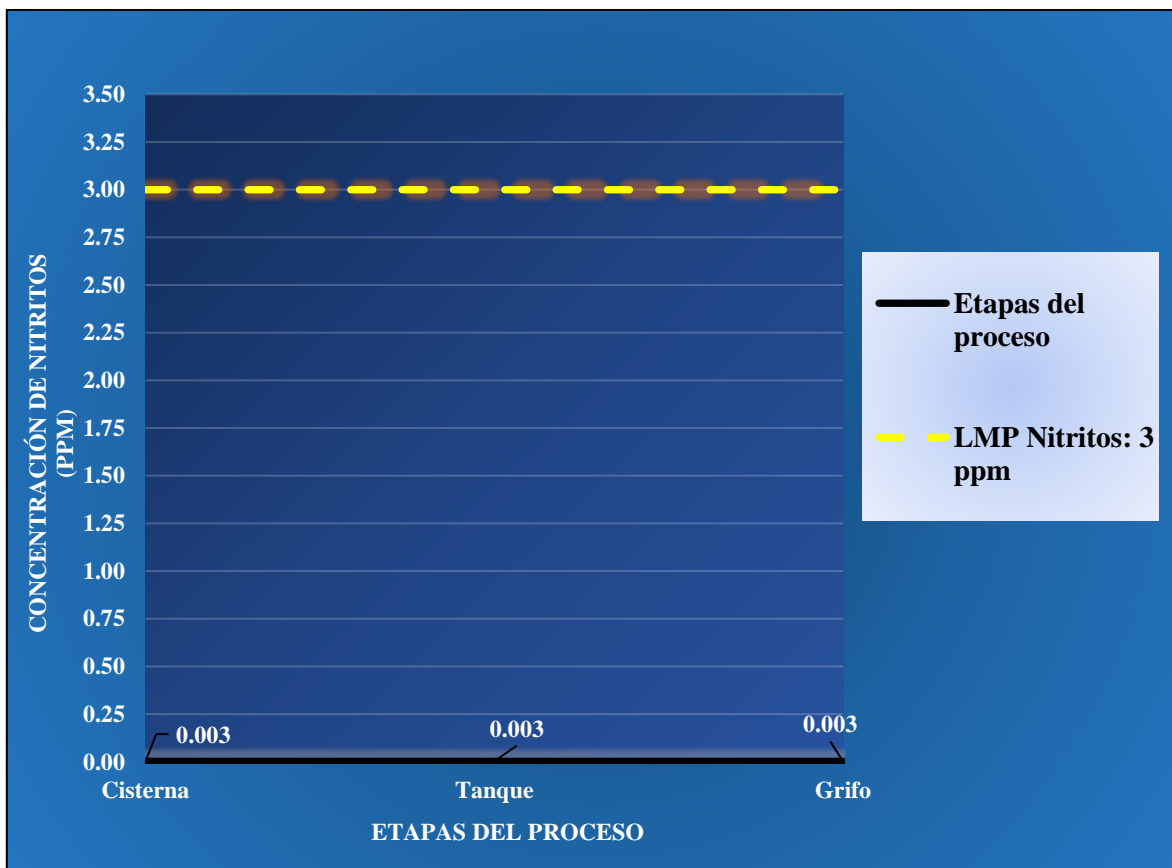
Tal como podemos observar en la gráfica 5-8 el comportamiento de la concentración de sulfatos es decreciente puesto que en cada etapa es menor que la anterior, siendo sus valores de 7.0 ppm en la cisterna, 5.8 ppm en el tanque y 5.0 ppm en el grifo. La concentración en el grifo se encuentra un 98% por debajo del límite máximo permisible de 250 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



Gráfica 5-8 Variación de Sulfato en las Etapas del Proceso

5.2.1.9 Nitritos

Tal como podemos observar en la gráfica 5-9 el comportamiento de la concentración de nitritos en cada una de las etapas no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración en todas las etapas se mantiene por debajo de 0.003 ppm, la concentración en el grifo se encuentra un 99.9% por debajo del límite máximo permisible de 3 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



Gráfica 5-9 Variación de Nitritos en las Etapas del Proceso

5.2.1.10 Cloro Residual

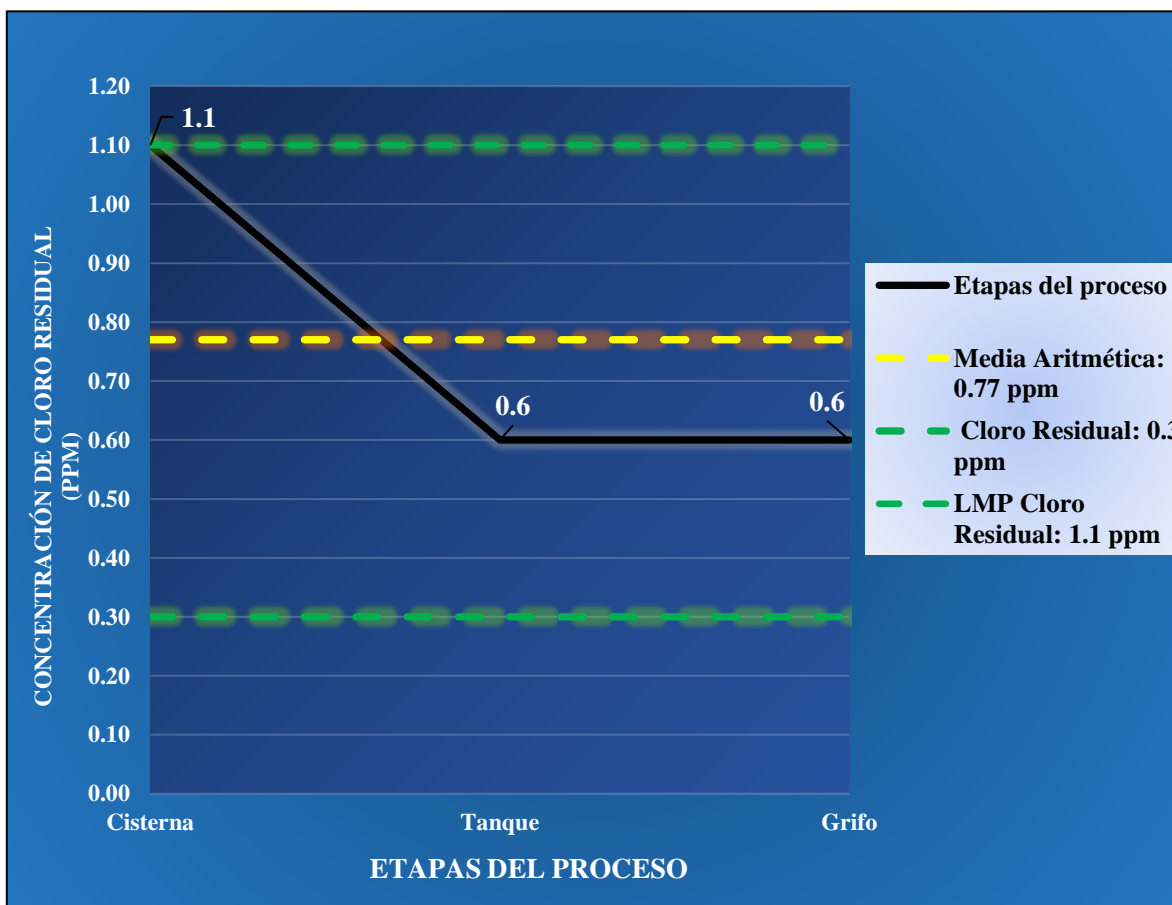
Los análisis in-situ se llevaron a cabo haciendo uso de un equipo que utilizó un indicador y una escala de valores en base al color, los resultados fueron de 0.8, 0.4 y 0.2 para la cisterna, el tanque y el grifo respectivamente según lo muestra la tabla 4-1 numeral 3. La concentración promedio es de 0.47 ppm con una desviación estándar de 0.25 ppm y un coeficiente de variación del 53% (ver Anexo E-IV) por lo que los datos tienen una considerable variabilidad con respecto a su media aritmética.

En los resultados de los análisis de laboratorio, la media aritmética es de 0.77 ppm con una desviación estándar de 0.24 ppm y un coeficiente de variación de 30.74% lo que indica que los datos son dispersos con respecto a su media aritmética.

Al comparar los resultados obtenidos in-situ con los reportados por el laboratorio se determinó que los porcentajes de variación son de 27.27%, 33.33% y 66.67% para la cisterna,

el tanque y el grifo respectivamente (Anexo E-III); estos fueron calculados mediante la ecuación 5.5, en los tres casos el porcentaje es positivo lo que indica que el dato reportado por el laboratorio es mayor que el medido in-situ.

Tal como podemos observar en la gráfica 5-10 el comportamiento de la concentración del cloro residual libre es decreciente entre la cisterna y el tanque, puesto que en cada etapa es menor que la anterior, luego se mantiene constante entre el tanque y el grifo, siendo sus valores de 1.1 ppm en la cisterna, 0.6 ppm en el tanque y 0.6 ppm en el grifo. La concentración en el grifo se encuentra dentro del rango permisible de 0.3-1.1 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.



Gráfica 5-10 Variación de Cloro Residual en las Etapas del Proceso

5.2.1.11 Cromo hexavalente

La concentración de cromo hexavalente en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración se mantiene por debajo de 0.05 ppm y se encuentra debajo del límite máximo permisible de 0.05 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.1.12 Cloruros

La concentración de Cl^- en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración se mantiene por debajo de 2.7 ppm.

5.2.1.13 Plomo

La concentración de plomo en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración se mantiene por debajo de 3.2×10^{-4} ppm y se encuentra como mínimo un 96.8% por debajo del límite máximo permisible de 0.01 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.1.14 Cadmio

La concentración de cadmio en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración se mantiene por debajo de 1×10^{-5} ppm y se encuentra como mínimo un 99.67% por debajo del límite máximo permisible de 0.003 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.1.15 Cobre

La concentración de cobre en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, la concentración se mantiene por debajo de 0.03 ppm y se encuentra como mínimo un 98.5% por debajo del límite máximo permisible de 2 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.1.16 Color aparente

Este parámetro en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, su valor se mantiene por debajo de 3.6 Unidades Pt-Co y se encuentra como mínimo un 76% por debajo del límite máximo permisible de 15 Unidades Pt-Co establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.1.17 Sodio

La concentración de sodio en el grifo es de 12 ppm, este parámetro fue analizado puesto que el ministerio de salud se los había requerido a los administradores del proyecto de agua.

5.2.1.18 Zinc

Este parámetro en el grifo no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, su valor se mantiene por debajo de 0.008 ppm y se encuentra como mínimo un 99.8% por debajo del límite máximo permisible de 4 ppm establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.2 Parámetros microbiológicos

5.2.2.1 Bacterias coliformes totales

Este parámetro no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, se encuentra por debajo de 1.1 NMP/100 mL y al ser menor que dicho valor cumple con lo establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.2.2 Bacterias coliformes fecales

Este parámetro no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, se encuentra por debajo de 1.1 NMP/100 mL y al ser menor que dicho valor cumple con lo establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.2.3 Escherichia coli

Este parámetro no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, se encuentra por debajo de 1.1 NMP/100 mL y al ser menor que dicho valor cumple con lo establecido en el RTS 13.02.01:14.

5.2.2.4 Conteo Total de Bacterias

Este parámetro no se pudo precisar con exactitud debido al método de medición, sin embargo, se encuentra por debajo de 1.1 UFC/100 mL, este parámetro fue analizado a petición de los administradores del proyecto de agua.

5.2.2.5 Pseudomonas aeruginosa

El resultado obtenido fue la ausencia de pseudomonas aeruginosa, este parámetro se analizó a petición de los administradores del proyecto de agua.

5.3 Plan de mejora en la planta potabilizadora del Cantón Portezuelo

Con base en los resultados obtenidos y analizados en el apartado 5.2, además de las distintas observaciones realizadas por los estudiantes en el trabajo de campo se identificaron los problemas y oportunidades de mejora en la planta dando prioridad a brindar soluciones a aquellos relacionados a la calidad del agua, no obstante, se plantearon recomendaciones para otros tipos de problemas.

5.3.1 Identificación de problemas existentes y oportunidades de mejora

A continuación, se presenta una lista de los problemas identificados por los estudiantes en la planta:

- a) Ausencia de medidores de caudal en las salidas de los pozos y en la salida del tanque.
- b) El único parámetro que se monitorea es la concentración de cloro residual en la cisterna por lo cual el monitoreo realizado actualmente es insuficiente en cantidad parámetros y puntos críticos del sistema.
- c) Los operarios actuales de la planta presentaron disposición en fortalecer sus conocimientos sobre muestreo y medición de parámetros de calidad de agua.
- d) Durante las visitas a la planta se observó poca señalización de seguridad.
- e) No hay registro de mantenimiento preventivo.
- f) Los administradores del proyecto de agua presentaron disposición en fortalecer sus conocimientos sobre la legislación salvadoreña en lo referente a la calidad de agua para consumo humano.

5.3.2 Prioridades

Las prioridades del plan son la solución de problemas o posibilidades de mejora que estén relacionadas a la calidad del agua suministrada a los consumidores del cantón portezuelo. Las mejoras planteadas serán implementadas por los administradores únicamente sin la intervención directa de los estudiantes, toda problemática que no esté relacionada a la calidad del agua se buscó una solución de manera general, sin profundizar en recursos necesarios para implementarla.

5.3.3 *Objetivos y metas*

- a) Fortalecer la capacitación del personal encargado de la planta para garantizar un monitoreo más riguroso y efectivo de los parámetros de calidad del agua.
- b) Establecer un programa de mantenimiento preventivo para aumentar la vida útil de los equipos de la planta y evitar que se detenga el suministro de agua por fallas en los equipos de la planta.
- c) Conocer el flujo de agua extraído de los pozos y suministrado a los habitantes para determinar dosis óptimas de cloro.
- d) Implementar medidas de seguridad ocupacional en la planta.

5.3.4 *Soluciones a los problemas principales*

- a) Instalar medidores de caudal en las salidas de los pozos y en la salida del tanque para monitorear el caudal y la presión en diferentes puntos del sistema de tratamiento.
- b) Implementar un programa de monitoreo regular de los parámetros de calidad del agua en diferentes puntos del sistema de tratamiento haciendo uso de equipos para la medición de pH, cloro residual libre y temperatura
- c) Desarrollar un plan de capacitación para el personal encargado de la planta, que incluya entrenamiento en muestreo, medición de parámetros y normas de seguridad en el trabajo.
- d) Establecer un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones y mantenimiento regular de los equipos de la planta para reducir los tiempos de inactividad y aumentar la vida útil de los equipos.

5.3.5 *Ejecución de las soluciones a los problemas principales*

En este apartado se presenta el detalle de la implementación propuesta para la solución a los problemas y oportunidades de mejora descritas en el apartado 6.4, los aspectos importantes a tomar en cuenta es el tiempo, conocimiento y economía de la administración ya que los encargados de implementar las soluciones serán los integrantes de la junta administradora de la planta de potabilización

5.3.5.1 Instalación de medidores de caudal en las salidas de los pozos y en la salida del tanque

La instalación de medidores de caudal en las salidas de los pozos y en la salida del tanque de la planta de potabilización requiere una planificación cuidadosa, la selección de los equipos adecuados y una instalación precisa y verificación para garantizar una monitorización precisa y confiable del caudal de agua.

- a) Evaluación de los requisitos de los medidores de caudal: Se debe determinar el tipo de medidor de caudal que se necesita, dependiendo de las condiciones de la planta y las especificaciones de diseño. Se deben considerar factores como la presión y temperatura de operación, entre otros.
- b) Selección del lugar de instalación: Los puntos críticos que se escogieron son las salidas de los pozos y la salida del tanque, estos puntos fueron seleccionados puesto que es importante conocer y monitorear el volumen extraído de las fuentes de agua, y el volumen suministrado a los consumidores.
- c) Adquisición de los medidores de caudal: Se deben adquirir los medidores de caudal seleccionados en el paso 1. Es importante asegurarse de que los medidores cumplan con las especificaciones requeridas.
- d) Preparación del sitio de instalación: Se deben preparar y realizar limpieza en los sitios de instalación de los medidores de caudal: los pozos 1, 2 y el tanque.
- e) Instalación de los medidores de caudal: Los medidores de caudal se deben instalar en los lugares seleccionados en el paso 2. La instalación debe seguir las instrucciones del fabricante para garantizar que los medidores estén instalados de manera correcta y segura.
- f) Verificación de la instalación: Se deben realizar pruebas de verificación en cada medidor de caudal para asegurarse de que estén funcionando correctamente y proporcionando mediciones precisas.
- g) Puesta en marcha: Una vez que se han completado todas las pruebas de verificación, se debe poner en marcha el sistema de medición de caudal para la monitorización continua del caudal de agua en las salidas de los pozos y en la salida del tanque.

- h) Mantenimiento: Se debe establecer un plan de mantenimiento regular para los medidores de caudal, que incluya la limpieza, calibración y reemplazo periódico de piezas y componentes según sea necesario.
- i) Capacitación del personal: El personal encargado de la planta debe ser capacitado para el uso y mantenimiento de los medidores de caudal. Esto puede incluir capacitación en el manejo de los equipos, la interpretación de las lecturas y la resolución de problemas comunes.

Para llevar a cabo esta mejora se recomienda contratar los servicios profesionales de una empresa externa que se especialice en la instalación y operación de equipos para plantas de tratamiento de aguas ya que estos poseen una amplia experiencia en el diseño, instalación y mantenimiento de este tipo de equipos.

5.3.5.2 Implementación de un programa de monitoreo regular de los parámetros de calidad del agua en diferentes puntos del sistema de tratamiento

Para implementar un programa de monitoreo regular de los parámetros de calidad del agua en diferentes puntos del sistema de tratamiento en una planta de potabilización, se puede seguir el siguiente procedimiento:

- a) Identificar los puntos críticos: los puntos del sistema de tratamiento de agua seleccionados son: la cisterna y el tanque de almacenamiento. La cisterna se seleccionó debido a que es el punto inmediato después de la cloración, en esta se almacena el agua antes de ser transportada vía tuberías al tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento se seleccionó porque en este se unen los caudales provenientes del pozo 1 (agua sin clorar) y el pozo 2 (agua clorada) y es el último punto de la planta antes de distribuir al consumidor.
- b) Seleccionar los parámetros a monitorear: Una vez que se han identificado los puntos críticos, se deben seleccionar los parámetros a monitorear en cada punto. Los parámetros que se monitorearán en la planta serán el pH, el cloro residual libre y la temperatura, se seleccionaron solamente estos parámetros debido a que los costos de incurrir en nuevos equipos para medir otros parámetros son muy elevados, no

obstante, queda a potestad de la administración la decisión de medir otros parámetros in-situ tales como turbidez, sólidos totales disueltos, dureza, entre otros. Los procedimientos para tomar muestras y realizar mediciones de parámetros in-situ se desarrollará en las capacitaciones al personal de la planta.

Se realizará un monitoreo de la calidad del agua distribuida a los consumidores basándose en los límites máximos permisibles establecidos por el RTS 13.02.01:14, la toma de muestras se llevará a cabo en un grifo en una comunidad y el procedimiento para tomarlas se desarrollará en las capacitaciones.

- c) Definir la frecuencia de monitoreo: Los parámetros se medirán diariamente y se registrarán en la bitácora de control del operador (ver Anexo D).

En lo concerniente al estudio de calidad del agua, se realizará uno básico cada mes y uno intermedio cada año esto según el RTS 13.02.01:14, si se identifica un problema por un parámetro fuera de los límites máximos permisibles se debe realizar un estudio en los puntos críticos para identificar el origen de la contaminación. La frecuencia de estos estudios puede cambiar en base al inciso 6.2.5.3 del RTS 13.02.01:14.

- d) Establecer los límites aceptables: Los límites para dichos parámetros serán los mismos establecidos en el RTS 13.02.01:14, para el pH el rango aceptable estará entre 6.0 y 8.5, para el cloro residual libre el rango aceptable estará entre 0.3 y 1.1 ppm y para la temperatura, esta solo se tomará la lectura.

Para los estudios básicos e intermedios, los límites máximos permisibles serán los establecidos en el RTS 13.02.01:14.

- e) Seleccionar el equipo de monitoreo: Los equipos de monitoreo serán: un termómetro digital para medir temperatura, papel tornasol o tiras reactivas, y se utilizará un kit cromático con DPD como reactivo, para medir el cloro residual libre.

- f) Implementar el programa: Una vez que se han definido los puntos críticos, los parámetros a monitorear, la frecuencia de monitoreo, los límites aceptables, el equipo de monitoreo y se ha capacitado al personal, se puede implementar el programa de

monitoreo, este debe ser monitoreado y evaluado continuamente para identificar áreas de mejora y asegurar que se cumplan los límites aceptables de los parámetros monitoreados.

5.3.5.3 Desarrollo del plan de capacitación para el personal encargado de la planta

I. Objetivo general del plan

Capacitar al personal encargado de la planta de potabilización en los conocimientos necesarios para garantizar la calidad del agua para consumo humano y el cumplimiento de la legislación vigente en El Salvador.

II. Objetivos específicos del plan

- a) Instruir al personal encargado de la planta de potabilización los conceptos básicos de la calidad del agua y su importancia para la salud pública.
- b) Brindar información al personal encargado de la planta de potabilización sobre los principales contaminantes del agua y los efectos que pueden tener sobre la salud.
- c) Familiarizar al personal encargado de la planta de potabilización con los procesos de tratamiento de agua para potabilización y los equipos necesarios para llevarlos a cabo.
- d) Enseñar al personal encargado de la planta de potabilización los procedimientos para toma de muestras de agua potable.
- e) Orientar al personal encargado de la planta de potabilización sobre los procedimientos a llevar a cabo para medir parámetros in-situ a partir de las muestras recolectadas en los puntos de críticos de la planta.
- f) Presentar al personal encargado de la planta de potabilización la legislación vigente en El Salvador referente a la calidad del agua para consumo humano.

III. Duración

2 semanas divididas en 4 clases de 2 horas cada una, se impartirán 2 clases por semana, los días serán seleccionados en base a los horarios del personal encargado de la planta de potabilización.

IV. Contenido

Semana 1

- a) Conceptos básicos de la calidad del agua y su importancia para la salud pública.
- b) Principales contaminantes del agua y sus efectos en la salud.
- c) Procesos de tratamiento de agua para potabilización.
- d) Equipos necesarios para llevar a cabo los procesos de tratamiento.

Semana 2:

- a) Parámetros de calidad del agua y su importancia para garantizar la seguridad del agua para consumo humano.
- b) Procedimientos de toma de muestras de agua.
- c) Medición de parámetros in-situ con equipos de medición adecuados.
- d) Legislación vigente en El Salvador referente a la calidad del agua para consumo humano.

Este contenido es orientativo y busca dar una base de los principales puntos de capacitación (enfocados en la calidad del agua potable), se recomiendan cursos sobre normativas de seguridad en la planta que involucren señalización, uso de equipo de seguridad y desarrollo de un manual de operación de la planta.

V. Metodología

La capacitación será teórica-práctica y se impartirá en las instalaciones de la planta de potabilización.

- a) La parte teórica se impartirá mediante presentaciones con apoyo de material audiovisual.
- b) La parte práctica consistirá en la realización de ejercicios y prácticas en la planta de potabilización, donde se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos.
- c) Se realizarán evaluaciones al finalizar cada módulo de la capacitación para medir el nivel de comprensión del personal.

VI. Recursos

- a) Material audiovisual y de apoyo para las presentaciones.
- b) Equipos de medición para la parte práctica.
- c) Guías y protocolos para los procedimientos de toma de muestras y medición de parámetros in-situ.
- d) Legislación vigente referente a la calidad del agua en El Salvador.
- e) Contratación de profesional para desarrollo del plan.

VII. Evaluación

Al finalizar la capacitación, se realizará una evaluación para medir el nivel de comprensión del personal en los temas impartidos. También se realizará una evaluación en la planta de potabilización para medir la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. Los resultados de ambas evaluaciones serán presentados a la gerencia para su revisión y seguimiento.

5.3.5.4 Establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo

- a) Al establecer y llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo en la planta de potabilización, se podrán identificar y solucionar problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas importantes. De esta manera, se asegura un mayor tiempo de operación continua y se disminuyen los costos asociados a las reparaciones y reemplazo de equipos. Además, al realizar mantenimiento regularmente, se prolonga la vida útil de los equipos de la planta, evitando la necesidad de invertir en nuevos equipos con frecuencia.
- b) Identificar los equipos críticos: Son aquellos que, al fallar, pueden causar una interrupción en la producción de agua potable, estos son las bombas conectadas a los pozos 1 y 2, además la bomba conectada a la cisterna, los manómetros conectados en los pozos, la caja de control de las bombas y los circuitos eléctricos de la planta.
- c) Establecer un calendario de mantenimiento: Para cada equipo crítico, establece un calendario de mantenimiento preventivo que incluya el tipo de mantenimiento que se

realizará y la frecuencia; estos se decidirán por la junta administradora en conjunto con la empresa que preste el servicio de instalación de equipos.

- d) Establecer procedimientos de mantenimiento: Estos se realizarán por la empresa contratada para instalación de equipos en la planta.
- e) Establecer un registro de mantenimiento: La junta administradora debe de llevar u registro de todos los mantenimientos realizados a todos los equipos, con la fecha detallada, tipo de mantenimiento, responsable a cargo, firma de la empresa responsable y de la junta administradora.
- f) Revisar y actualizar el plan regularmente: Cada actividad de mantenimiento realizada se debe de revisar las bitácoras de mantenimiento para mantener actualizado el plan.

CONCLUSIONES

- a) Se realizó una caracterización del agua de los cantones y caseríos del cantón Portezuelo a nivel básico agregado a mediciones de parámetros de un estudio intermedio según el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD.”, para conocer la calidad del agua y las oportunidades de mejora en el sistema de abastecimiento de agua, el estudio permitió comprobar que el agua suministrada en los parámetros analizados cumple con los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD. La cantidad de parámetros analizados fue de 23, de los cuales 6 son parte de un estudio básico del agua, mientras que los otros 17 son exclusivamente parte de un estudio intermedio, se eligieron 3 puntos de muestreo los cuales fueron cisterna, tanque de almacenamiento y un grifo de un consumidor. La característica del agua a nivel organoléptico fue de buena calidad ya que esta no presentó coloración, olor y sabor fuera de las características esperadas, por lo que incluido el análisis de los parámetros se puede concluir que el agua suministrada por la planta potabilizadora no muestra indicios de contaminación. Se identificaron oportunidades de mejora a partir de visitas realizadas por los integrantes del grupo, las cuales se relacionaron con la seguridad de los trabajadores y la garantía de la seguridad del agua, las soluciones se plantearon en el plan de mejora para la planta potabilizadora.
- b) Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados en la cisterna, tanque y el grifo, tienen en general poca dispersión al comparar los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo, es decir, son bastante uniformes, a excepción de las concentraciones de cloro residual libre donde el coeficiente de variación es de 30.74% con una media aritmética de 0.77 ppm y una desviación estándar de 0.24 ppm, la cisterna es el punto inmediato después de la cloración y es donde se obtuvo una mayor concentración siendo su valor de 1.1 ppm, la concentración desciende y se mantiene constante a 0.6 ppm en los siguientes dos puntos (el tanque y el grifo), este descenso se debe la reacción del cloro con los micro-

organismos y la dilución producto de la mezcla de las aguas de ambos pozos en el tanque. En lo que se refiere a la comparación de los valores reportados con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14 “AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD., todos los parámetros se encuentran en cumplimiento con estos límites, por lo cual el agua no muestra indicios de contaminación.

- c) Se identificaron oportunidades de mejora en la planta de potabilización que permitieron la formulación de acciones que consisten en la instalación de medidores de caudal ya que la planta no los posee o no funcionan, en el plan de mejora se describe que factores influyen en la elección del medidor, como mínimo se debe instalar uno en la salida del tanque de almacenamiento pero esto queda en las manos de la junta administrativa; la implementación de un programa de monitoreo regular de los parámetros de control para garantizar que no existan cambios en las características del agua y que faciliten la identificación temprana de cualquier contaminación y el desarrollo de un plan de capacitación para el personal encargado de la planta de potabilización sobre mantenimiento preventivo de equipos y el marco legal que se debe cumplir para el correcto funcionamiento de la planta, tanto a nivel de inocuidad y calidad del agua como operativos, estas medidas permitirán aumentar la eficiencia y el rendimiento de la planta de potabilización al permitir un monitoreo más preciso del proceso de tratamiento, mejorar la calidad del agua producida, fortalecer la capacitación del personal y prolongar la vida útil de los equipos. Estas medidas son fundamentales para asegurar la sostenibilidad del suministro de agua potable de calidad e inocua a la población de la zona.

- d) El éxito del plan de mejora y las acciones que este formula dependerá en gran medida de la participación de los encargados de la planta y la colaboración de la comunidad. La junta administradora debe de garantizar la seguridad de la calidad e inocuidad del agua, por lo que todos sus esfuerzos deben pasar por monitorear los parámetros con regularidad, realizando un estudio básico cada mes y realizando estudios intermedios cada año como lo indica el Reglamento Técnico Salvadoreño 13.02.01:14 “AGUA.

AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD al menos que el Ministerio de Salud de El Salvador exija una menor o mayor frecuencia. Es importante que la población esté informada y educada acerca de la importancia de cuidar y preservar los recursos hídricos, así como de los riesgos que implican las prácticas que ponen en peligro la calidad del agua. La implementación de programas de educación y concientización pueden ser una herramienta efectiva para fomentar una cultura de cuidado y responsabilidad en torno al agua.

- e) El estudio no confirmó la presencia de *Helicobacter pylori* en el agua suministrada a los habitantes del cantón portezuelo ya que no se realizó un estudio específico para esta bacteria. Por lo cual es recomendable realizar un estudio específico para descartar presencia de *Helicobacter pylori*, esta necesidad surge por las sospechas que el Ministerio de Salud de El Salvador tiene sobre la relación de los casos de infección por la bacteria en los habitantes de la zona y la relación con la calidad del agua, sin embargo, no hay indicios de contaminación microbiológica en el agua, según los resultados de los estudios realizados, para coliformes totales, fecales su valor y *Escherichia coli* su valor fue menor a 1.1 NMP/100 ml, el conteo total de bacterias fue menor a 1.1 UFC/100 ml y ausencia de *Pseudomonas*. No se pudo descartar la presencia de la bacteria *Helicobacter pylori* ya que no se ha determinado una correlación con los parámetros antes mencionados según la Organización Mundial de la Salud en las Guías para la Calidad del Agua (pág. 282).
- f) El estudio brinda un aporte importante en la certeza de la calidad del agua que es suministrada en las colonias y caseríos del Cantón Portezuelo, la incertidumbre con la que muchos implicados en el proceso vivían se ha erradicado, al finalizar el proyecto se pudo experimentar una sensación de tranquilidad por parte de los consumidores, los administradores y el Ministerio de Salud de El Salvador. La importancia de este estudio radica en que los consumidores tenían la duda de la calidad del agua, mientras se realizaban las visitas y los muestreos, personas habitantes de la zona manifestaron tranquilidad de que en años no se realizaba un estudio en el agua; los resultados se presentaron a los administradores y estos se los llevaron al Ministerio

de Salud de El Salvador al igual que en reuniones a los habitantes del cantón Portezuelo, ambos mostraron satisfacción con los resultados, los habitantes percibieron con gratitud el que se realizara el estudio ya que les permite reducir esa incertidumbre con la han vivido durante años; por otra parte el Ministerio de Salud de El Salvador les expresó que todos los parámetros solicitados cumplen con los límites máximos permisibles y les concedió realizar un estudio intermedio cada 2 años ya que no habían sospechas de una contaminación en la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDA. (26 de Octubre de 2020). Obtenido de ANDA: <https://acortar.link/PmlzVp>
- Asamblea Constituyente de El Salvador. (1983). *Constitución de la República de El Salvador*. San Salvador.
- Asamblea Legislativa de El Salvador. (1988). *Código de Salud*. San Salvador.
- Asamblea Legislativa de El Salvador. (2022). *Ley General de Recursos Hídricos*. San Salvador.
- Carbajal Azcona, Á., y González Fernández, M. (2003). Funciones biológicas del agua en relación con sus características físicas y químicas. En *Agua. el arte del buen comer* (págs. 249-256). Barcelona: Academia Española de Gastronomía.
- Cares, S. H. (2022). *Chemocare*. Obtenido de [https://chemocare.com/es/sideeffect/hipermagnesemia-\(nivel-de-magnesio-elevado\)](https://chemocare.com/es/sideeffect/hipermagnesemia-(nivel-de-magnesio-elevado))
- Chang, R., y A. Goldsby, K. (2013). *Química*. Mexico DF: McGraw-Hill.
- Flores Reyes, G. A., y Montano Ramírez, B. E. (2019). *Propuesta de Validación del Proceso de Muestreo de Agua Potable*. Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia, San Salvador. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20380>
- Gobierno de El Salvador. (20 de marzo de 2018). Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Reglamento Técnico Salvadoreño: Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad*. San Salvador. Obtenido de <https://acortar.link/cPBjMw>
- Grandjean, A., Reimers, K., & Buyckx, M. (2003). Hydration: issues for the 21st century. *Nutr Rev. Nutrition Reviews*, 261-271. doi:10.1301/nr.2003.aug.261-271
- Hildreth, B. (1979). *How to survive in the bush, on the coast, in the mountains of New Zealand*. Wellington: Government Printer.

- Orellana, J. A. (2005). *Características del agua potable*. Obtenido de <https://acortar.link/1ecHEL>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4a + 1a adenda ed.). Ginebra, Suiza.
- Pierce, M. (1993). Water. Structures, properties, and determination. En M. Pierce, R. Macrae, R. Robinson, y M. Sadler (Edits.), *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition* (págs. 6082-6086). Academic Press.
- Quinteros Carpio, J. E., y Ramírez Gutiérrez, H. E. (2007). *Introducción y mejoramiento de un sistema de abastecimiento de agua potable en los cantones San Antonio y el Diamante del municipio de Jujutla, en el departamento de Ahuachapán*. Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Ingeniería y Arquitectura, Santa Ana.
- Real Academia Española. *Diccionario de la Real Academia Española*. Recuperado el 17 de Febrero de 2023, de <https://dle.rae.es/agua>
- Rojas Solano, L. F., y Brenes Esquivel, R. (2005). El agua: sus propiedades e importancia biológica. *Acta Academica*, 37, 167-196. Obtenido de <http://revista.uaca.ac.cr/index.php/actas/article/view/407>
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Mexico, D.F.: Alfa Omega Grupo Editor.

ANEXOS

Anexo A Muestreo en Cisterna de las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana



Ilustración A-I Exploración del punto de muestreo 1



Ilustración A-II Desinfección por flameo en grifo del punto 1



Ilustración A-III Desinfección por flameo en grifo del punto 1



Ilustración A-IV Lavado de grifo con agua destilada



Ilustración A-V Preparación de punto de muestreo 1



Ilustración A-VI Toma de muestra en punto 1 para análisis de laboratorio



Ilustración A-VII Medición de temperatura del agua en el punto 1



Ilustración A-VIII Llenado de tubos de ensayo para medición de cloro residual libre



Ilustración A-IX Muestras para medición de cloro residual libre



Ilustración A-X Medición de cloro residual libre en punto 1



Ilustración A-XI Lectura de pH en punto de muestreo 1

**Anexo B Muestreo en Tanque de Almacenamiento de las Colonias y Caseríos del
Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana**



Ilustración B-I Limpieza con alcohol etílico en punto 2



Ilustración B-II Desinfección por flameo de grifo en punto 2



Ilustración B-III Preparación de punto de muestreo 2



Ilustración B-IV Toma de muestra para análisis de laboratorio en punto 2



Ilustración B-V Toma de muestra para análisis in-situ



Ilustración B-VI Medición de temperatura del agua en el punto 2



Ilustración B-VII Medición de pH en punto de muestreo 2



Ilustración B-VIII Lectura de pH en punto de muestreo 2



Ilustración B-IX Preparación de muestras para medición de cloro residual libre



Ilustración B-X Muestras para medición de cloro residual libre



Ilustración B-XI Determinación de cloro residual libre en punto de muestreo 2

Anexo C Muestreo en grifo de las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana



Ilustración C-I Preparación de equipo en punto de muestreo 3



Ilustración C-II Limpieza de grifo en punto de muestreo 3 con alcohol



Ilustración C-III Preparación de punto de muestreo 3



Ilustración C-IV Toma de muestra para laboratorio en punto de muestreo 3



Ilustración C-V Medición de temperatura del agua en punto 3



Ilustración C-VI Medición de pH en punto de muestreo 3



Ilustración C-VII Lectura de pH en punto de muestreo 3



Ilustración C-VIII Preparación de muestras para medición de cloro residual libre en punto 3



Ilustración C-IX Medición de cloro residual libre en punto 3



Ilustración C-X Graduandos de la Universidad de El Salvador, a cargo de la investigación realizada

Anexo D Bitácora de Monitoreo de Parámetros



JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA: _____

HORA	FECHA	Parámetro			Observaciones	Operario	Firma	Turno
		COLOR LIBRE (mg/L)	TEMPERATURA (°C)	pH				

Supervisor:

Anexo E Resumen de Datos Estadísticos y Comparativa con RTS 13.02.01:14

Tabla E-I Resumen de Datos de los Parámetros in-situ

PARÁMETRO	CISTERNA	TANQUE	GRIFO	MEDIA ARITMÉTICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Temperatura ambiente	21.2	22.5	22.4	22.03	3%
Temperatura de muestra	30.2	24.1	29	27.77	10%
Cloro residual libre	0.8	0.4	0.2	0.47	53%
pH	6.8	7.5	7	7.10	4%

Tabla E-II Comparación Resultados Análisis in-situ contra Análisis de Laboratorio

PARÁMETRO	ANÁLISIS IN-SITU			ANÁLISIS DE LABORATORIO		
	CISTERNA	TANQUE	GRIFO	CISTERNA	TANQUE	GRIFO
pH	6.8	7.5	7	6.79	7.13	7.19
Cloro residual libre	0.8	0.4	0.2	1.1	0.6	0.6

Tabla E-III Porcentaje de Variación de Parámetros in-situ contra Análisis de Laboratorio

PARÁMETRO	PORCENTAJE DE DIFERENCIA		
	CISTERNA	TANQUE	GRIFO
pH	-0.15%	-5.19%	2.64%
Cloro Residual Libre	27.27%	33.33%	66.67%

Tabla E-IV Resumen de Cálculos de Análisis de Laboratorio

N.º	PARÁMETRO	CISTERNA	TANQUE	GRIFO	MEDIA ARITMÉTICA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL LMP	LMP	UNIDADES
1	pH	6.79	7.13	7.19	7.04	0.18	2.50%	-	6.0-8.5	-
2	Sólidos Totales Disueltos	142	140	136	108.67	41.52	38.20%	86.40%	1000	ppm
3	Nitratos	9	8	7.7	8.23	0.56	6.75%	84.60%	50	ppm
4	Turbidez	0.1	0.1	0.1	0.10	0.00	0.00%	98.00%	5	NTU
5	Dureza Total	60	58	56	58.00	1.63	2.82%	88.80%	500	ppm
6	Hierro Total	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12	0.00	0.00%	60.00%	0.3	ppm
7	Manganeso Total	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.00	0.00%	50.00%	0.1	ppm
8	Sulfatos	7	5.8	5	5.93	0.82	13.85%	98.00%	250	ppm
9	Nitritos	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.00	0.00%	99.90%	3	ppm
10	Cloro Residual	1.1	0.6	0.6	0.77	0.24	30.74%	-	0.3-1.1	ppm
11	Cromo ⁽⁺⁶⁾	-	-	<0.05	-	-	-	-	0.05	ppm
12	Cloruros	-	-	<2.7	-	-	-	-	-	ppm
13	Plomo	-	-	<3.2x10 ⁻⁴	-	-	-	96.80%	0.01	ppm
14	Cadmio	-	-	<1x10 ⁻⁵	-	-	-	99.67%	0.003	ppm
15	Cobre	-	-	<0.03	-	-	-	98.50%	2	ppm
16	Color aparente	-	-	<3.6	-	-	-	76.00%	15	Unidades Pt-Co
17	Sodio	-	-	12	-	-	-	-	-	ppm
18	Zinc	-	-	<0.008	-	-	-	99.80%	4	ppm
19	Bacterias Coliformes Totales	<1.1	<1.1	<1.1	<1.10	0.00	0.00%	-	<1.1	NMP/100 mL

(Continúa)

Tabla E-IV Resumen de Cálculos de Análisis de Laboratorio (Continuación)

Nº	PARÁMETRO	CISTERNA	TANQUE	GRIFO	MEDIA ARITMÉTICA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL LMP	LMP	UNIDADES
20	Bacterias Coliformes Fecales	<1.1	<1.1	<1.1	<1.10	0.00	0.00%	-	<1.1	NMP/100 mL
21	Escherichia Coli	<1.1	<1.1	<1.1	<1.10	0.00	0.00%	-	<1.1	NMP/100 mL
22	Conteo Total de Bacterias	<1	<1	<1	<1.00	0.00	0.00%	-		UFC/ mL
23	Pseudomonas aeruginosa	Ausente	Ausente	Ausente	-	-	-	-		-

Anexo F Hojas de resultados de Análisis Químicos de Muestras de Agua Tomadas en las Colonias y Caseríos del Cantón Portezuelo, Santa Ana Departamento de Santa Ana

San Salvador, 11 de Noviembre del 2022

SEÑORES : **SR. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS ADALBERTO HERNANDEZ, OSCAR MANUEL ALBANES**

DIRECCIÓN : 18 E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CÓDIGO DE MUESTRA : 1142S
 NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2
 FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022
 ATENCIÓN : SRES. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES
 ESTIMADO(A): SRES. SAYEZ, HERNANDEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POTABLE
 FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022
 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : DESARENADOR (**)
 TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL
 MUESTRA TOMADA POR : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS ANDINO, OSCAR ALBANES
 APARIENCIA DE LA MUESTRA : CLARA TRANSPARENTE SIN SÓLIDOS
 CONDICIONES DE RECEPCION DE LA MUESTRA : RECIBIDA EN ENVASE PLASTICO A TEMPERATURA AMBIENTE

<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>	<u>Reglamento</u> RTS13.02.01:14	<u>Fecha de</u> <u>Finalización</u> <u>de Análisis</u>
pH	: 6.79 (23.5 °C)	Unidades	RefAPHA4500HB (1)	6.0 - 8.5	27/09/2022
Sólidos Totales Disueltos*	: 142	ppm	RefAPHA2510B (1)	1000	27/10/2022
Nitratos	: 9	ppm NO ₃	RefAPHA4500NO3B(UV) (1)	50	09/11/2022
Turbidez	: 0.10	NTU	RefAPHA2130B (1)	5	27/10/2022
Dureza Total	: 60	ppm CaCO ₃	RefAPHA2340C (1)	500	01/11/2022
Hierro Total	: Menor que 0.12	ppm Fe	RefAPHA3500FeB (2)	0.30	27/10/2022
Manganeso Total*	: Menor que 0.05	ppm Mn	Peryodato (3)	0.10	04/11/2022
Sulfatos	: 7	ppm SO ₄	RefAPHA4500SO ₄ ^{2E} (1)	250	10/11/2022
Nitritos*	: Menor que 0.003	ppm N	Diazotization (4)	3.00	01/11/2022
Cloro Residual*	: 1.1	ppm Cl-Residual	DPD:Diethyl-p-phenylene diamine (4)	0.3 - 1.1	27/10/2022

San Salvador, 12 de Noviembre del 2022

SEÑORES: **SR. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES**
DIRECCIÓN: 18E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CODIGO DE MUESTRA : 1142SB
NÚMERO DE PÁGINA DE REPORTE : 1/2
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022
ATENCIÓN : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES
ESTIMADO : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Bacteriológicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS BACTERIOLÓGICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POTABLE
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 31/10/2022
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : DESARENADOR
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL
MUESTRA TOMADA POR : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES
APARIENCIA DE LA MUESTRA : NO APLICA

ANALISIS	Resultado	Limite permisible		Método de Análisis
		máximo(2)	Expresado como	
Bacterias coliformes totales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B (1)
Bacterias coliformes fecales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Escherichia Coli	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Conteo Total de Bacterias	: MENOS DE 1	No Aplica	UFC/ mL	SMEWW 9215B(1)
Pseudomonas aeruginosa	: Ausente	No Aplica	NO APLICA	Ausencia-Presencia, USP 31, 2008

(2) REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO (RTS) 13.02.01:14, 2018

NMP : Número más probable
UFC : Unidad formadora de colonias
USP : United States Pharmacopeia
Metodología de Análisis : SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition 2012. (1)
Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.
Prohibida su reproduccion parcial sin la autorizacion del laboratorio

San Salvador, 11 de Noviembre del 2022

SEÑORES : **SR. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS ADALBERTO HERNANDEZ, OSCAR MANUEL ALBANES**

DIRECCIÓN : 18 E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CÓDIGO DE MUESTRA : 1143S
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022
ATENCIÓN : SRES. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES
ESTIMADO(A): SRES. SAYEZ, HERNNADEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POTABLE
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : TANQUE (**)
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL
MUESTRA TOMADA POR : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS ANDINO, OSCAR ALBANES
APARIENCIA DE LA MUESTRA : CLARA TRANSPARENTE SIN SÓLIDOS
CONDICIONES DE RECEPCION DE LA MUESTRA : RECIBIDA EN ENVASE PLASTICO A TEMPERATURA AMBIENTE

<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>	<u>Reglamento</u> RTS13.02.01:14	<u>Fecha de</u> <u>Finalización</u> <u>de Análisis</u>
pH	: 7.13 (23.5 °C)	Unidades	RefAPHA4500HB (1)	6.0 - 8.5	27/09/2022
Sólidos Totales Disueltos*	: 140	ppm	RefAPHA2510B (1)	1000	27/10/2022
Nitratos	: 8	ppm NO ₃	RefAPHA4500NO3B(UV) (1)	50	09/11/2022
Turbidez	: 0.10	NTU	RefAPHA2130B (1)	5	27/10/2022
Dureza Total	: 58	ppm CaCO ₃	RefAPHA2340C (1)	500	01/11/2022
Hierro Total	: Menor que 0.12	ppm Fe	RefAPHA3500FeB (2)	0.30	27/10/2022
Manganeso Total*	: Menor que 0.05	ppm Mn	Peryodato (3)	0.10	04/11/2022
Sulfatos	: 5.8	ppm SO ₄	RefAPHA4500SO ₄ ² E (1)	250	10/11/2022
Nitritos*	: Menor que 0.003	ppm N	Diazotization (4)	3.00	01/11/2022
Cloro Residual*	: 0.60	ppm Cl-Residual	DPD:Diethyl-p-phenylene diamine (4)	0.3 - 1.1	27/10/2022

San Salvador, 12 de Noviembre del 2022

SEÑORES: **SR. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES**
DIRECCIÓN: 18E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CODIGO DE MUESTRA : 1143SB
NÚMERO DE PÁGINA DE REPORTE : 1/2
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022
ATENCIÓN : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES
ESTIMADO : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Bacteriológicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS BACTERIOLÓGICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POTABLE
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 01/11/2022
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : AGUA DE TANQUE
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL
MUESTRA TOMADA POR : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES
APARIENCIA DE LA MUESTRA : NO APLICA

ANALISIS	Resultado	Limite permisible		Método de Análisis
		máximo(2)	Expresado como	
Bacterias coliformes totales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B (1)
Bacterias coliformes fecales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Escherichia Coli	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Conteo Total de Bacterias	: 1	No Aplica	UFC/ mL	SMEWW 9215B(1)
Pseudomonas aeruginosa	: Ausente	No Aplica	NO APLICA	Ausencia-Presencia, USP 31, 2008

(2) REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO (RTS) 13.02.01:14, 2018

NMP : Número más probable
UFC : Unidad formadora de colonias
USP : United States Pharmacopeia
Metodología de Análisis : SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition 2012. (1)
Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.
Prohibida su reproduccion parcial sin la autorizacion del laboratorio

San Salvador, 21 de Noviembre del 2022

SEÑORES : SRES. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS HERNANDEZ OSCAR ALBANES

DIRECCIÓN : 18E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CÓDIGO DE MUESTRA : 1144S

NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE : 1/2

FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022

ATENCIÓN : SRES. ROBERTO SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES

ESTIMADO(A): SRES. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POBLES

FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : AGUA DE GRIFO (**)

TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL

MUESTRA TOMADA POR : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS ANDINO, OSCAR ALBANES

APARIENCIA DE LA MUESTRA : CLARA TRANSPARENTE SIN SÓLIDOS

CONDICIONES DE RECEPCION DE LA MUESTRA : RECIBIDA EN ENVASE PLASTICO A TEMPERATURA AMBIENTE

ANÁLISIS	Resultado	Expresado como	Método de Análisis	Reglamento RTS13.02.01:14	Fecha de	
					Finalización de Análisis	Análisis
pH	: 7.19 (23.4 °C)	Unidades	RefAPHA4500HB (1)	6.0 - 8.5	27/10/2022	
Sólidos Totales Disueltos*	: 136	ppm	RefAPHA2510B (1)	1000	27/10/2022	
Cromo (+6)	: Menor que 0.05	ppm Cr ⁺⁶	RefAPHA3500CrD (3)	0.05	14/11/2022	
Nitratos	: 7.7	ppm NO ₃	RefAPHA4500NO3B(UV) (1)	50	09/11/2022	
Turbidez	: 0.10	NTU	RefAPHA2130B (1)	5	27/10/2022	
Dureza Total	: 56	ppm CaCO ₃	RefAPHA2340C (1)	500	01/11/2022	
Hierro Total	: Menor que 0.12	ppm Fe	RefAPHA3500FeB (2)	0.30	27/10/2022	
Manganeso Total*	: Menor que 0.05	ppm Mn	Periyodato (4)	0.10	04/11/2022	
Cloruros	: Menor que 2.7	ppm Cl	Turbidimétrico (4)	No Aplica	10/11/2022	
Sulfatos	: 5	ppm SO ₄	RefAPHA4500SO ₄ ^{2E} (1)	250	10/11/2022	
Plomo*	: Menor que 3.2x10 ⁻⁴	ppm Pb	refAPHA3113B(G.F) (5)	0.01	04/11/2022	
Cadmio*	: Menor que 1x10 ⁻⁵	ppm Cd	refAPHA3113B(G.F) (5)	0.003	08/11/2022	
Cobre*	: Menor que 0.03	ppm Cu	refAPHA3111B (AAS) (6)	2.00	17/11/2022	
Color Verdadero*	: Menor que 3.6	Unidades Pt-Co	RefAPHA2120C (2)	No Aplica	27/10/2022	
Nitritos*	: Menor que 0.003	ppm N	Diazotization (7)	3.00	01/11/2022	
Sodio*	: 12	ppm Na	RefAPHA3500NaB (2)	No Aplica	18/11/2022	
Zinc*	: Menor que 0.008	ppm Zn	refAPHA3111B (AAS) (6)	4.00	17/11/2022	
Cloro Residual*	: 0.60	ppm Cl-Residual	DPD:Diethyl-p-phenylene diamine (7)	0.3 - 1.1	27/10/2022	

San Salvador, 12 de Noviembre del 2022

SEÑORES: **SR. ROBERTO ENRIQUE SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES**
DIRECCIÓN: 18E PONIENTE COLONIA IVU, LOS 44, CASA # 14, SANTA ANA

CODIGO DE MUESTRA : 11445B
NÚMERO DE PÁGINA DE REPORTE : 1/2
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA : 27/10/2022
ATENCIÓN : SR. ROBERTO SAYES, DIMAS HERNANDEZ, OSCAR ALBANES
ESTIMADO : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES

Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Bacteriológicos efectuados a:

RESULTADO DE ANALISIS BACTERIOLÓGICOS

TIPO DE MUESTRA : AGUA POTABLE
FECHA DE TOMA DE MUESTRA : 27/10/2022
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS : 31/10/2022
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : AGUA DE GRIFO
TIPO DE TOMA DE MUESTRA : PUNTUAL
MUESTRA TOMADA POR : SR. SAYES, HERNANDEZ, ALBANES
APARIENCIA DE LA MUESTRA : NO APLICA

ANALISIS	Resultado	Limite permisible		Método de Análisis
		máximo(2)	Expresado como	
Bacterias coliformes totales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B (1)
Bacterias coliformes fecales	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Escherichia Coli	: MENOS DE 1.1	MENOS DE 1.1	NMP/100 mL	SMEWW 9221B(1)
Conteo Total de Bacterias	: MENOS DE 1	No Aplica	UFC/ mL	SMEWW 9215B(1)
Pseudomonas aeruginosa	: Ausente	No Aplica	NO APLICA	Ausencia-Presencia, USP 31, 2008

(2) REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO (RTS) 13.02.01:14, 2018

NMP : Número más probable
UFC : Unidad formadora de colonias
USP : United States Pharmacopeia
Metodología de Análisis : SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition 2012. (1)
Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.
Prohibida su reproduccion parcial sin la autorizacion del laboratorio