

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE TAMBILLO

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA
SUPERIOR EN AGUA Y SANAMIENTO AMBIENTAL**

MELANI ESTEFANÍA LÓPEZ MOGOLLÓN

melani.lopez@epn.edu.ec

DIRECTOR: SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA

sandra.panchi@epn.edu.ec

DMQ Agosto, 2024

CERTIFICACIONES

Yo, MELANI ESTEFANÍA LÓPEZ MOGOLLÓN declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Mélani Estefanía López Mogollón
melani.lopez@epn.edu.ec
mela36841@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MELANI ESTEFANÍA LÓPEZ MOGOLLÓN, bajo mi supervisión.

Sandra Patricia Panchi Jima
sandra.panchi@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

MÉLANI ESTEFANÍA LÓPEZ MOGOLLÓN

DEDICATORIA

Dedico este proyecto con mucho amor a mi madre Maribel López, quien me ha brindado su apoyo incondicional en todas mis decisiones, y por estar conmigo en los momentos más difíciles, así como a mis tíos Alicia López, Laura López y Ángel López por ayudarme siempre con mis estudios y poder tener este logro más en mi vida. A mi primo Alex Gualotuña por promoverme a superarme cada vez más a pesar de que ya no se encuentra conmigo, me cuida y protege siempre. A mis amigos Alex, Alexander, Dennys y Lorena, que estuvieron conmigo desde el inicio de la carrera hasta el final, por sus buenos consejos y siempre sacarme una sonrisa.

Esto es por todos ustedes gracias por estar conmigo, nunca dejarme sola y decirme que todo se logra. Debido a esto, he logrado alcanzar un objetivo más en mi vida. ¡Seguiré por más!

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar mi gratitud a la Ing. Patricia Panchi por su orientación en este proyecto y por sus habilidades que nos permitieron alcanzar los objetivos que nos propusimos.

Al Ing. Jairo Jimpikit por su constante apoyo en la realización de este proyecto y sus recomendaciones para mejorar.

No solo agradezco a los Ing. Eduardo Vázquez y Santiago Guerra por su respaldo en este proyecto y aclarar mis incertidumbres, sino también por sus valiosas enseñanzas y motivaciones a lo largo de mi carrera profesional.

A la Junta Administradora de Agua Potable de Tambillo por confiar en mi para presentar este proyecto y promover constantemente el valor de la calidad del agua.

Al Dr. Byron Rojas por sus enseñanzas, reflexiones, recomendaciones y acompañamiento profesional e introducirme a la vida laboral, por enseñarme la importancia que tiene el medio ambiente y sus recursos naturales, en especial el agua.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN	X
ABSTRACT	XIII
1 INTRODUCCIÓN	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ALCANCE	17
1.4 MARCO TEÓRICO	18
Importancia de la calidad del agua para consumo humano.....	18
Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos del agua	18
Desinfección del agua	18
Características del cloro como agente desinfectante	19
Dosificaciones.....	20
Muestreo	20
2 METODOLOGÍA	21
Fuentes de Abastecimiento	21
Procesos existentes en la Planta 1, para la desinfección del agua.....	22
Recolección de Datos y Aforos de Caudales	23
Medición de cloro libre residual en puntos específicos	25
Análisis de parámetros requeridos	26
Parámetros Físico-Químicos	26
Parámetros Microbiológicos	40
3 RESULTADOS.....	41
4 CONCLUSIONES	58
5 RECOMENDACIONES	59
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
7 ANEXOS.....	63
ANEXO I	63
ANEXO II	65
ANEXO III	67
ANEXO IV	71
ANEXO V.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema Demanda de Cloro.....	18
Figura 2: Vertiente Curipgyo	20
Figura 3: Galería de Infiltración de la JAAPT	20
Figura 4: Diagrama de Flujo para procesos de la Planta 1 de Tambillo	21
Figura 5: Gráfica Aforo de Caudal de Ingreso a la Planta 1	40
Figura 6: Gráfica Resultados Obtenidos de Cloro Libre Residual	41
Figura 7: Gráfica Sólidos Presentes en el Agua.....	50
Figura 8: Índice de Número más Probable (NMP).....	52
Figura 9: Curva de comportamiento de Demanda de Cloro	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de las Fuentes	19
Tabla 2: Especificaciones geográficas de los puntos de muestreo de cloro libre residual.....	22
Tabla 3: Volúmenes de la solución Madre a utilizar y concentraciones iniciales	36
Tabla 4: Resultados Aforos del Caudal de Ingreso.....	37
Tabla 5: Resultados Obtenidos de cloro libre residual en los puntos de muestreo.....	39
Tabla 6: Plan de Muestreo realizado con la Normativa INEN 2169 para Muestreo Manejo y Conservación de Muestras.	40
Tabla 7: Resultados Obtenidos de Alcalinidad	41
Tabla 8: Resultados Obtenidos de Acidez	41
Tabla 9: Resultados Obtenidos de Cloruros	42
Tabla 10: Resultados Obtenidos de Dureza Total.....	42
Tabla 11: Resultados Obtenidos de Dureza Cálctica	43
Tabla 12: Resultados Obtenidos de Color Aparente	43
Tabla 13: Resultados Obtenidos de Color Real	44
Tabla 14: Resultados Obtenidos de DQO.....	44
Tabla 15: Resultados Obtenidos de Fosfatos	45
Tabla 16: Resultados Obtenidos de Hierro	45
Tabla 17: Resultados Obtenidos de Manganeso	46
Tabla 18: Resultados Obtenidos de Nitrógeno Amoniacal.....	46
Tabla 19: Resultados Obtenidos de Nitrito.....	47
Tabla 20: Resultados Obtenidos de Nitrito.....	47
Tabla 21: Resultados Obtenidos de Sólidos en el Agua.....	48
Tabla 22: Resultados Obtenidos de Coliformes Totales.....	49
Tabla 23: Resultados Obtenidos de Coliformes Fecales	49
Tabla 24: Resultados Obtenidos de Cryptosporidium.....	50
Tabla 25: Resultados Obtenidos de Prueba de Jarras.....	51
Tabla 26: Dosificaciones Obtenidas para desinfectar el caudal de ingreso de 20 L/s	52

Tabla 27: Resultados Obtenidos de la Caracterización para el ICA53

Tabla 28: Clasificación Índice de Calidad del Agua propuesta por Brown..... 53

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación del Caudal de Ingreso método volumétrico	23
Ecuación 2: Determinación del Alcalinidad Total	23
Ecuación 3: Determinación de la Acidez en el agua	23
Ecuación 4: Determinación de Cloruros en el agua	24
Ecuación 5: Determinación de Dureza Total en el Agua	25
Ecuación 6: Determinación de Dureza Cálcica en el agua.....	26
Ecuación 7: Determinación de Sólidos Totales en el agua.....	27
Ecuación 8: Determinación de Sólidos Suspendedos en el agua	27
Ecuación 9: Determinación de Sólidos Disueltos en el agua	28
Ecuación 10: Determinación de gramos de litro cloro en el agua	33
Ecuación 11: Determinación de mg/L a utilizar de Cloro	34
Ecuación 12: Determinación de volumen a utilizar	34
Ecuación 13: Estequiometría para dosificación de cloro líquido NaClO	34
Ecuación 14: Determinación Índice de Calidad del Agua	53

RESUMEN

Este estudio se enfoca en mejorar el proceso de desinfección del agua en la planta potabilizadora de tambillo, con el objetivo de aumentar la seguridad y calidad del agua suministrada a los consumidores. La investigación abarca la implementación de técnicas de muestreo como a análisis en laboratorio y procesos de potabilización, permitiendo evaluar el estado actual del agua tratada.

La planta de tambillo, que opera desde hace aproximadamente 45 años, abastece a alrededor de 10.000 usuarios en la zona rural del cantón Mejía de la parroquia de Tambillo, provincia de Pichincha. El agua utilizada es proveniente de fuentes subterráneas y fuentes superficiales, como lo es la vertiente Curipgyo y una galería de infiltración el caudal de ingreso a la planta es de aproximadamente 20 L/s y abastecimiento a los barrios Centro, Camilo Calvache, Valle Hermoso 1 y 2.

La Junta administradora de agua potable de tambillo (JAAPT), fundada en 1979, gestiona la planta en colaboración con SENAGUA, la entidad responsable de los recursos hídricos en Ecuador. La junta actual, compuesta por la Asamblea General de consumidores, el directorio de la JAAPT y el personal contratado, asegura la operación mantenimiento y distribución efectiva del agua, de la Planta 1.

La potabilización del agua en la planta 1 incluye procesos como la cloración con gas y aireación, cumpliendo con las normativas INEN 1108 y AM097 A, estos procesos junto con la infraestructura de conducción y distribución mediante tubería de PVC, garantizan la provisión de agua segura a la comunidad de Tambillo.

PALABRAS CLAVE: Desinfección, Calidad, Proceso de potabilización, INEN 1108, Caudal, Cloración

ABSTRACT

This study focuses on improving the water disinfection process at the Tambillo water treatment plant, with the aim of increasing the safety and quality of the water supplied to consumers. The research covers the implementation of sampling techniques such as laboratory analysis and purification processes, allowing the current state of the treated water to be evaluated.

The Tambillo plant, which has been operating for approximately 45 years, supplies around 10,000 users in the rural area of the Mejía canton of the parish of Tambillo, province of Pichincha. The water used comes from underground sources and surface sources, such as the Curipgyo slope and an infiltration gallery. The flow rate entering the plant is approximately 20 L/s and supplies the neighborhoods Centro, Camilo Calvache, Valle Hermoso 1 and 2.

The Tambillo Drinking Water Administration Board (JAAPT), founded in 1979, manages the plant in collaboration with SENAGUA, the entity responsible for water resources in Ecuador. The current board, composed of the General Assembly of consumers, the JAPT board of directors and contracted personnel, ensures the effective maintenance and distribution of water at Plant 1.

The water purification in plant 1 includes processes such as gas chlorination and aeration, complying with INEN 1108 and AM097 A regulations. These processes, together with the conduction and distribution infrastructure through PVC pipes, guarantee the provision of safe water to the community of Tambillo.

KEYWORDS: Disinfection, Quality, Purification process, INEN 1108, Flow, Chlorination

1 INTRODUCCIÓN

DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En las zonas urbanas, las entidades municipales brindan el servicio público de suministros de agua potable; en las zonas rurales, las Juntas Administradoras de Agua Potable son las encargadas de proporcionar agua potabilizada para consumo humano. Son consideradas además como organizaciones comunitarias según la Jurisdicción Cantonal Distribuida del País; se debe tener en cuenta que estas instituciones son reconocidas por la ley ecuatoriana, basadas en características sustentables y sostenibles. También pueden tener asesoramiento por parte de SENAGUA de forma gratuita. (Secretaría Nacional de Planificación, 2018)

El presente proyecto permitirá optimizar y mejorar la calidad del proceso de desinfección en la Junta de Agua Potable de Tambillo que actualmente funciona con una cloración a gas. Se examinó varias propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua, proveniente de la vertiente Curipgyo y de la galería de infiltración, para determinar si están dentro de los límites permitidos por las regulaciones actuales para consumo de agua potable, mediante técnicas aplicadas de muestreo, potabilización y caracterización. Se realizó los análisis en los laboratorios correspondientes de la EPN. Con los resultados a obtener, se podrá establecer procesos óptimos para la desinfección, y así mejorar la dosificación aplicada en el agua que llega a la Planta 1, y un cambio de cloración gas a líquido; también se realizarán aforos del caudal proveniente de la vertiente que ingresa a la Planta 1, lo cual contribuirá a la calidad y seguridad de la población consumidora de Tambillo.

De igual forma, se entregará un manual de mantenimiento y operación del sistema de desinfección basado en el manejo adecuado de la dosificación con hipoclorito de sodio. Se entregarán las indicaciones de su uso correspondiente. Este manual permitirá que los operadores de la planta tengan el conocimiento de las concentraciones y cantidades que se deben colocar durante el proceso de desinfección. Es importante tener el conocimiento del manejo de las concentraciones adecuadas del desinfectante, ya que una dosificación muy baja o insuficiente podría alterar considerablemente la calidad del agua. Por otro lado, un exceso de concentración es aún más peligroso en temas de seguridad, salud y alteraciones en las características finales del agua, más aun tratándose de una dosificación mediante cloro gas que tiene una mayor toxicidad para la salud humana. Con una dosificación adecuada, se aumenta la eficiencia de los productos utilizados y disminuyen los impactos ambientales relacionados con derrames

de compuestos químicos. Los operadores deben comprender que el tratamiento del agua es fundamental para asegurar la calidad completa del agua.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el proceso de desinfección del agua en la Planta Potabilizadora de Tambillo.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

1. Determinar el caudal de ingreso al proceso de desinfección de la planta.
2. Identificar la dosis óptima de desinfectante para el proceso mediante análisis de laboratorio.
3. Plantear una guía para la operación del proceso de desinfección.

1.3 ALCANCE

Este proyecto permite identificar y optimizar el sistema de desinfección de la Planta potabilizadora 1 de Tambillo, al aplicar un seguimiento de la dosificación correspondiente para la desinfección del agua proveniente de la vertiente Curipgyo y de la galería de infiltración. Al igual del caudal de ingreso que proveen estas dos fuentes.

Para llevar a cabo este proyecto, la información primaria fue obtenida mediante el respectivo personal de la planta y con análisis de agua tratada y no tratada. También se hará uso de la información obtenida en años anteriores, como planos, análisis de laboratorio y estudios de las fuentes.

En este proyecto se realizó evaluaciones de características físico-químicas y microbiológicas del caudal que ingresa al proceso de desinfección, incluyendo la dosificación y concentración adecuada de cloro. Estos análisis se llevarán a cabo mediante ensayos de laboratorio de la EPN; los resultados obtenidos serán comparados con las respectivas normativas vigentes ecuatorianas como la INEN 1108, Acuerdo Ministerial 097- A y extranjeras como la Normativa Mexicana 127 SSA 1.

El resultado obtenido del proyecto será la presentación de un informe con resultados de la caracterización del agua y la determinación de la dosis óptima acorde al proceso de desinfección para que el agua pueda ser consumida. Así como la generación de una guía para el usuario u operador de la planta, en la que consten los criterios técnico- teóricos ya considerados y la dosis recomendada para el proceso.

1.4 MARCO TEÓRICO

Importancia de la calidad del agua para consumo humano

El agua destinada para consumo humano debe cumplir características microbiológicas, químicas y físicas establecidas en las normativas vigentes. El agua es considerada como el líquido más abundante del planeta Tierra; es base de la vitalidad. En el caso de este proyecto, deben ser cumplidos los parámetros respectivos dependientes de las características de la fuente establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A en tabla 1, y las características establecidas en la normativa INEN 1108 tabla 1 para Consumo Humano, que es la normativa actual vigente para el consumo de agua en el Ecuador. (World Health Organization, 2023)

Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos del agua

Las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de una fuente de agua son fundamentales para poder identificar procesos y tratamientos de desinfección adecuados, en el caso de las fuentes analizadas, la vertiente superficial y la galería de infiltración, se establecerán parámetros específicos. A pesar de que un agua tenga excelentes resultados de caracterización, siempre debe incluir procesos de tratamiento del agua y más aún en la parte de desinfección para garantizar la salud pública. (Aconsa Laboratorio, 2023)

Desinfección del agua

Para garantizar la salud y bienestar de los consumidores, el proceso de desinfección es crucial, ya que protege de microorganismos patógenos y de sustancias tóxicas que pueden generar enfermedades, por ello existen distintos métodos de desinfección. Uno de los primeros desinfectantes y el más conocido, que data de 1854, es el cloro que destruye organismos patógenos presentes en una fuente de agua. Este desinfectante evitó varias enfermedades como la tifoidea en estos años. Con el paso del tiempo, la tecnología ha facilitado crear procesos de desinfección tales como Radiación Ultravioleta y Ozono, que son más efectivos que la cloración tradicional. Para poder elegir el tratamiento adecuado para la desinfección del agua, se deberá tener en cuenta la parte económica, caracterización del agua, mantenimiento, operación, estructura y la capacidad de transporte. (Lorelly, 2003)

Características del cloro como agente desinfectante

El cloro, un elemento químico gaseoso de color amarillo-verdoso y perteneciente al grupo de los halógenos, es ampliamente reconocido por sus propiedades germicidas, blanqueadoras y desinfectantes. Su capacidad para reaccionar con materia orgánica, agua y varios tipos de metales lo hace especialmente útil en sistemas de cloración y distribución de agua, donde es altamente eficiente en la destrucción de microorganismos patógenos. Una de las características más valiosas del cloro es su tendencia a ser residual, lo que asegura la desinfección continua durante la distribución del agua. Este tipo de cloro, conocido como cloro libre residual, se mantiene activo después de la desinfección inicial, garantizando la eliminación continua de microorganismos en el agua. (Lorelly,2003)

El cloro libre residual juega un papel crucial en el mantenimiento de la calidad del agua, ya que su presencia es esencial para cumplir con las normativas de desinfección eficiente. La demanda de cloro, que se refiere a las sustancias en el agua capaces de consumir o reaccionar con el cloro, debe ser cuidadosamente gestionada para asegurar una dosificación eficaz. Mantener los niveles adecuados de cloro es vital para evitar una desinfección suficiente, por el contrario, un exceso de cloro, que puede resultar tóxico. (Lorelly,2003)

El uso de cloro en estado gaseoso, aunque costoso y complicado de transportar a áreas rurales, sigue siendo un método muy eficaz en la desinfección del agua en varios países. Este cloro se distribuye en cilindros de 45 kg hasta 907 kg, lo que facilita su aplicación en diferentes contextos de tratamiento de agua. (Juan Larrea, 2020)

Por otro lado, el cloro en estado líquido, de color amarillo pálido y con un poder de desinfección igualmente elevado, es más fácil de dosificar y operar. Sin embargo, su almacenamiento requiere precauciones, como mantenerlo en recipientes adecuados y alejados de fuentes de calor y luz solar. A pesar de su eficacia y menor costo en comparación con otros métodos de desinfección, el cloro líquido debe utilizarse siguiendo regulaciones estrictas para evitar niveles peligrosos que podrían ser perjudiciales para la salud. (ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2018)

Dosificaciones

La dosificación correcta por utilizar depende de los compuestos existentes en el agua como nitritos, amoniacio y compuestos orgánicos. Para obtener el valor de la concentración de cloro libre en agua se mide *in situ* con el equipo portátil colorímetro. El cloro disponible debe tener la relación, como se indica en la figura 1. (Ministerio de salud Pública de Guatemala, 2006)

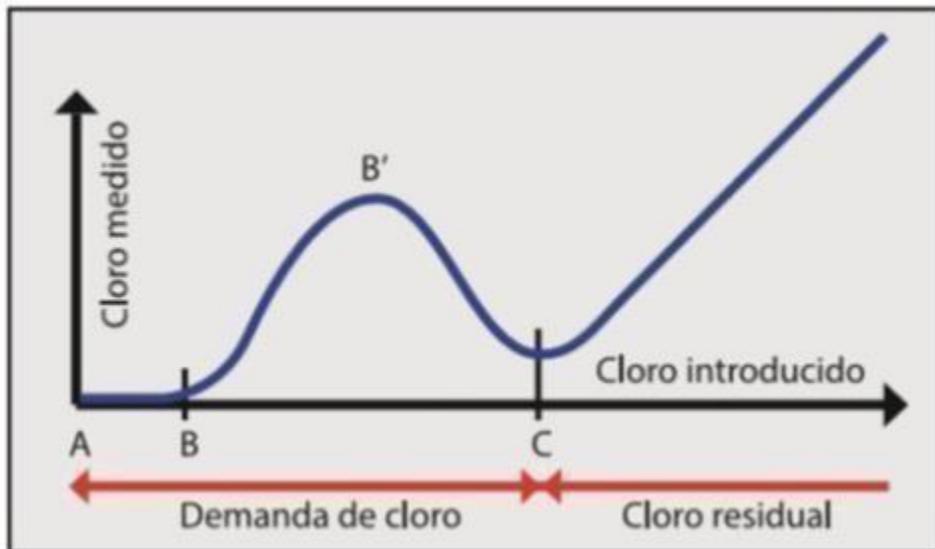


Figura 1: Esquema Demanda de Cloro.

Fuente: Tecnologías de Tratamiento de Agua (2018)

Donde

A-B: Cloro consumido por elementos inorgánicos como Hierro y Manganeseo.

B-C: Formación y Destrucción de organoclorados o cloraminas.

C: Cloro residual libre.

Muestreo

El muestreo de agua se basa en la recolección de muestras representativas de agua proveniente de una fuente para poder realizar análisis de calidad y composición de contaminantes químicos, biológicos y físicos, crucial para la seguridad, protección del medio ambiente y salud del consumidor. (HANNA,2022)

Existen distintos tipos de muestreo en aguas, como el muestreo puntual, basado en un punto específico y momento adecuado, muestreo compuesto, en el que se recoge más de una muestra a lo largo del tiempo y se mezclan para tener una muestra representativa, muestreo de perfil, basada en toma de muestras en distintas profundidades, es utilizada de forma común en lagos y reservorios, muestreo automático; este tipo de muestreo toma muestras en distintos intervalos regulares en ubicaciones donde se requiere un monitoreo constante. Para este proyecto se utilizó el muestreo puntual. (HANNA, 2022)

El muestreo también se realiza para el cumplimiento de normativas y tener una mejor recolección de muestras, generando resultados confiables. Existen normas internacionales o establecimientos como la OMS (Organización Mundial de la Salud), la cual ha generado guías para la calidad de agua potable y la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), que establece regulaciones y procedimientos de muestreo. La ISO 5667 presenta las normas de la Organización Internacional de Normalización ISO con descripciones de muestreo de agua. Estas normas son aplicadas para obtener un buen muestreo. De igual forma normativas como la INEN 2169, 2176, 2226 y 1105, el transporte de muestras es fundamental para garantizar la integridad y validez de los análisis a realizar. Se deben considerar puntos clave como contenedores adecuados limpios, dependiendo del análisis a realizar, conservantes y preservantes, ya que algunas muestras necesitan conservación, refrigeración o adición de conservantes químicos para evitar cambios del agua en su composición durante el transporte. También se debe realizar un etiquetado adecuado para poder diferenciarlas con datos de lugar, fecha, hora de muestreo y los análisis deseados. Influye en la muestra el tiempo de transporte. (Nuevas Normas UNE Sobre Muestreo, 2024)

2 METODOLOGÍA

Fuentes de Abastecimiento

El agua que consume la población de Tambillo es proveniente de una vertiente superficial denominada Curipgyo. Este tipo de fuente tiene su origen en abundantes precipitaciones y también depende de su permeabilidad geológica. Está propenso a varias contaminaciones de origen superficial; ya que su conducción es abierta, se debe monitorear para comprobar su calidad. Además, en la Planta 1 existe un caudal adicional proveniente de una galería de infiltración que es una estructura capaz de captar, filtrar y almacenar el agua de origen subterránea y superficial a través de túneles o canales.

Está compuesta por materiales filtrantes como la arena y grava que tienen la capacidad de retener de sólidos gruesos y de algunos componentes; puede ser utilizada para diferentes actividades de recolección de agua.

A continuación, se presenta la tabla 1 y las figuras 1 y 2 con las respectivas coordenadas en WGS84 de la Vertiente Superficial Curipgyo y de la Galería de Infiltración.

Tabla 1: *Coordenadas de las Fuentes.*

Fuentes de Abastecimiento	Altitud	UTM WGS84	
Vertiente Curipgyo	2924 m	17 M 772559,35 m E	9955198,45 m S
Galería de Infiltración	2832 m	17 M 772550.35 m E	9955198,45 m S



Figura 2: Vertiente Curipgyo



Figura 3: Galería de Infiltración de la JAAPT

Procesos existentes en la Planta 1, para la desinfección del agua

El agua de la vertiente superficial primero llega a un tanque rompe presiones, que reduce la presión y la velocidad del agua. Luego, el agua pasa a un tanque donde se desinfecta mediante la adición de gas cloro a través de un conducto. Después de esto, el agua es enviada a un aireador de bandejas, que disminuye la cantidad de cloro libre residual.

En este punto, el agua de la galería de infiltración, que no ha sido desinfectada previamente, se conecta al sistema. Estos caudales combinados son enviados a tres tanques de almacenamiento: dos con una capacidad de 100 m³ y uno con 200 m³. Finalmente, el agua es distribuida a la población de Tambillo.

Recolección de Datos y Aforos de Caudales

En el siguiente diagrama se pueden observar los procesos que tiene la Planta 1 de Tambillo desde la vertiente hasta su llegada y unión con el caudal de la galería de infiltración.



Figura 4: Diagrama de Flujo para procesos de la Planta 1 de Tambillo

Se realizó un plano de referencia como esquema de ubicación de la Planta 1 de Tambillo, en el cual se identifican sus respectivos procesos de tratamiento, el reconocimiento de las principales calles y toma de coordenadas en puntos específicos. Además, se colocaron las respectivas curvas de nivel para una mejor ubicación. Estos datos fueron obtenidos del Instituto Geográfico Militar mediante la respectiva carta topográfica física. Estas cartas no se encuentran en el sistema digital debido a la presencia de un fuerte militar en el sector. El respectivo plano se puede observar en el Anexo II.

El caudal es la cantidad de agua que fluye a través de un punto específico en un sistema en un tiempo determinado, generalmente medido en litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por hora (m³/h). Para la medición del caudal total que ingresa a la Planta 1, se realizó el aforo de caudales 3 veces, es importante conocer el caudal de ingreso al sistema para determinar cuán bien funciona el tratamiento del agua. Se estableció realizar el aforo mediante el método volumétrico.

El método volumétrico implica la medición del tiempo en el cual se obtiene un volumen definido. Tiene ventajas de simplicidad en el caso del acceso, precisión y versatilidad. En el caso del caudal de la galería de infiltración, se tienen registros de un caudal de ingreso promedio de 1 L/s, mientras que para el caudal proveniente de la vertiente Curipgyo se obtuvo el caudal de ingreso de la siguiente manera:

1. Se seleccionó el punto de caída al aireador de bandejas, en ese momento el aireador se encontraba en mantenimiento, lo que permitió un mayor acceso para la medición del caudal.
2. Se utilizó un balde de 20 L de capacidad y un cronómetro para medir con mayor precisión el tiempo de llenado.
3. Finalmente, se registró el volumen de agua recogido en el tiempo de medición de 1 segundo. Los resultados se pueden visualizar en la tabla 4.

$$Q= V/T$$

Ecuación 1: Determinación del Caudal de Ingreso método volumétrico

Donde

Q= Caudal de ingreso a la planta 1 en L/s.

V= Volumen de agua recogido en balde en L.

T= Tiempo de recogida (se consideró 1 segundo).

Se inició el proyecto con la realización de un plan de muestreo, que se puede observar en la tabla 6 y una cadena de custodia para identificar los niveles de cloro libre residual y pH en puntos específicos del sistema que fueron los siguientes:

Tabla 2: Especificaciones geográficas de los puntos de muestreo de cloro libre residual.

Punto de Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha	Hora	Ubicación Geográfica UTM
La Joya- Av. Carlos Brito- Planta 1 de la JAAPT	Simple	08/05/2024	7:14 am	<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: 2828 m • Latitud: 0°24'15''S • Longitud: 78°33'00''W
Conexión 815- Primera casa que recibe el agua desinfectada.	Simple	08/05/2024	7:40 am	<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: 2802 m • Latitud: 0°24'17''S • Longitud: 78°32'53''W
Cementerio de Tambillo- Punto más cercano a la Planta 1.	Simple	08/05/2024	8:30 am	<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: 2807 m • Latitud: 0°24'18''S • Longitud: 78°52'7''W
Parque de Tambillo- Último punto que recibe el agua desinfectada.	Simple	08/05/2024	8:40 am	<ul style="list-style-type: none"> • Altitud: 2769 m • Latitud: 0°24'17''S • Longitud: 78°32'38''W

Medición de cloro libre residual en puntos específicos

Para la medición de cloro residual se utilizó el equipo portátil colorímetro; se realizó *in-situ*, ya que el cloro es un elemento volátil y se alteraría su concentración verdadera si es trasladado. Se realizó la medición del potencial hidrogeno como una medición adicional mediante tiras de pH, las cuales consisten en tiras de papel tornasol; el compuesto que contienen permite un cambio de color en función de la acidez del fluido.

Proceso para la medición de cloro libre residual y pH:

1. Para la medición del pH en el agua se recolectó en un frasco limpio una muestra de agua ya clorada, se introdujo la tira de papel tornasol en el frasco con la muestra y se esperó aproximadamente 1 minuto. Pasado este tiempo se utilizó la escala indicadora de los distintos colores que se encuentra en la caja de las tiras de pH, y se registró el valor obtenido. Este proceso se realizó para los 4 puntos escogidos.
2. Para la medición de cloro libre residual se trasladó el agua ya clorada a la celda del colorímetro.

3. Se midió el blanco sin reactivo para acondicionar el equipo, luego se colocó el reactivo DPD (Dietil Parafenileno Diamina) para cloro libre residual, el cual dio una coloración rosa por la presencia de cloro, se registró el resultado obtenido y se limpió la celda para las siguientes mediciones. Se debe colocar siempre la tapa del equipo para evitar interferencias con la luminosidad; las celdas deben limpiarse antes de toda medición.

Análisis de parámetros requeridos

Se solicitó al laboratorio LDIA de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental para realizar el análisis microbiológico de coliformes totales y fecales, así como la medición de la demanda de cloro. Los demás ensayos fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Tecnología Industrial del Área de Agua y Saneamiento Ambiental (ASA).

Por otro lado, el tipo de envase que se utilizó, el volumen necesario, las técnicas de preservación y el tiempo de almacenamiento de la muestra dependiendo del parámetro a analizar se estableció según la normativa NTE INEN 2169 Calidad del Agua Muestreo Manejo y Conservación de Muestras. Se identificó la cantidad a muestrear, preservantes y la temperatura de transporte, según la Normativa INEN 2169 para Manejo y Conservación de Muestras. Además, se tuvo una guía de los análisis realizados en la JAAPT por la EPA del Municipio de Machachi en el año 2018. Estas características se pueden visualizar en la tabla 6.

Además, la NTE INEN 2169 es una norma técnica ecuatoriana que establece los procedimientos y requisitos para el muestreo, manejo y conservación de muestras de agua para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados de análisis. Esta norma es fundamental para garantizar que las muestras de agua, desde su recolección hasta su análisis en el laboratorio, reflejen fielmente las condiciones del cuerpo de agua o del sistema bajo estudio.

Parámetros Físico-Químicos

Alcalinidad y Acidez

La alcalinidad del agua puede ser causada por la presencia de compuestos minerales básicos, carbonatos y bicarbonatos que provienen de suelos ricos en carbonatos o actividades como la agricultura. (HACH,2024)

La acidez del agua puede ser causada por la dilución de gases, como el dióxido de carbono, que puede reaccionar con el agua o descomponer materia orgánica. (HACH, 2024)

Para el cálculo de la Alcalinidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad Total} = \frac{B * N * 50000}{Vm}$$

Ecuación 2: Determinación de Alcalinidad Total en el agua.

Donde

B: Cantidad gastada de H₂SO₄ hasta alcanzar el punto final de anaranjado de metilo.

N: Normalidad del titulante.

Vm: Volumen muestra en mL.

Los pasos realizados para este análisis fueron los siguientes:

- Se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración y se homogenizó.
- Se puso en un vaso de precipitación 100 mL de H₂SO₄ para poder transferirlo a la bureta y tararla. Luego se agregó 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Se identificó que solo existe alcalinidad total por su pH de 6,5.
- Finalmente, se colocaron 3 gotas de indicador de fenolftaleína y se mezcló, para verificar su presencia. Como no apareció una coloración rosa, se reportó carbonatos igual a cero, y se tituló con H₂SO₄ con concentración de 0,02 N desde la coloración amarilla hasta un ligero color naranja. Se registra el volumen de H₂SO₄ gastado.

Para el cálculo de la Acidez se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez} = \frac{C * N * 50000}{\text{Alcalinidad}}$$

Ecuación 3: Determinación de la Acidez en el agua.

Donde

C: Cantidad gastada de NaOH hasta llegar al punto final en la fenolftaleína.

N: Normalidad del titulante

Los pasos realizados para el análisis de acidez fueron los siguientes:

- Se empezó, dejando la muestra para que tome una temperatura ambiente durante 1 hora, ya que se encontraba en refrigeración. Una vez homogenizada la muestra, se colocó una cantidad aproximada de 50 mL de NaOH en un vaso de precipitación, para poder transferirlo a una bureta para tararla, luego se transfirió 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL y se midió el pH con el equipo pH-metro agregando 4 gotas de fenolftaleína.
- Finalmente, con la concentración de 0,02 N de NaOH, se tituló hasta la aparición de un color rosa. Se registró el volumen gastado de NaOH.

Cloruros

La presencia de este anión se da por contaminación de aguas residuales, vertederos o la intrusión de agua salina. En concentraciones altas llega a alterar el sabor del agua. (Centro Universitario de Estudios Medioambientales, 2023)

Para el cálculo de Cloruros se aplica la siguiente fórmula:

$$CI = \frac{((A-B)*N*35,45)}{ml \text{ de muestra}}$$

Ecuación 4: Determinación de Cloruros en el agua.

Donde

A: mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.

B: mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.

N: es la normalidad del nitrato de plata.

Los pasos realizados para este análisis fueron los siguientes:

- Se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su estado de refrigeración, y se homogenizó. Se colocó en un vaso de precipitación la solución de AgNO_3 (Nitrato de plata) para transferirlo a la bureta, a 25 mL de la muestra se agregó 1 mL de disolución indicadora de K_2CrO_4 (Cromato de potasio).
- Se valoró con la disolución patrón de AgNO_3 (Nitrato de plata) hasta un cambio de color naranja rojizo, y se registró el volumen gastado.

Dureza Total y Cálculo

La presencia de estos parámetros indica una presencia de cationes metálicos multivalentes, minerales como el calcio y el magnesio, los cuales pueden afectar en la formación de espumas con el jabón. (HACH,2024)

Ejemplos de 3 tipos de aguas con dureza presente en el agua:

Aguas blandas: Se considera que la concentración de iones de calcio y magnesio es baja al menos del 60 mg/L de CaCO_3 .

Aguas moderadamente duras: Tienen concentraciones con valores de 60 a 120 mg/L de CaCO_3 .

Aguas duras: Considerada por la presencia de concentraciones mayores a 120 mg/L de CaCO_3 .

Para el cálculo de la Dureza Total se requiere de la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza Total} = \frac{VEDTA * MEDTA * 100091}{Vm}$$

Ecuación 5: Determinación de Dureza Total en el Agua.

Donde

VEDTA: Volumen en mL de titulante (EDTA) para valorar dureza.

MEDTA: Concentración de EDTA en mol/L.

Vm: Alícuota en mL de muestra titulada.

Los pasos realizados para este análisis fueron los siguientes:

- Para iniciar, se dejó la muestra que tome una temperatura ambiente durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración y se homogenizó. Se colocó una pequeña cantidad de EDTA en un vaso de precipitación para después poder transferirlo a la bureta, seguidamente en un Erlenmeyer se colocó 50 mL de muestra, se añadió 4 gotas de buffer de dureza hasta alcanzar un pH entre 7 y 11, con la punta de la espátula se tomó el indicador de negro de eriocromo y se homogenizó la mezcla.
- Finalmente, se tituló con EDTA con concentración de 0,01 M hasta un vire de color a azul marino, se registró el volumen gastado.

Para el cálculo de la Dureza Cálcica se requiere de la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza Cálcica} = \frac{VEDTA * MEDTA * 100091}{Vm}$$

Ecuación 6: Determinación de Dureza Cálcica en el agua

Donde

VEDTA: Volumen en mL de titulante (EDTA) para valorar dureza.

MEDTA: Concentración de EDTA en mol/L.

Vm: Alícuota en mL de muestra titulada.

Los pasos realizados para este análisis fueron los siguientes:

- Se inició, dejando a temperatura ambiente durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración, y se homogenizó. Seguidamente se añadió una pequeña cantidad de EDTA en un vaso de precipitación para después poder transferirlo a la bureta. En un Erlenmeyer se colocó 50 mL de muestra y se añadió 1 mL de NaOH a concentración de 1 M hasta alcanzar un pH entre 12 y 13, también se agregó con la punta de la espátula el indicador murexida y se homogenizó la mezcla.
- Finalmente se tituló con EDTA con concentración de 0,01 M hasta un cambio de coloración violeta, y se registró el volumen gastado.

Color Aparente y Real

Las concentraciones altas para color aparente y color real en unidades de Pt-Co pueden indicar la presencia de materia orgánica y metales, ya que pueden afectar las características organolépticas del agua. Los resultados de estos análisis pueden ser evaluados con longitudes de onda establecidas por la Norma ISO 7887. (Martínez, M. & Osorio, A. 2018)

Los pasos realizados para la medición de color aparente fueron los siguientes:

- Se dejó a temperatura ambiente la muestra durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración. Se agitó y homogenizó para poder transferir a un vaso de precipitación. Después se escogió en el equipo de espectrofotómetro el programa 120 Color 455nm.
- Finalmente, se colocan 10 mL de agua destilada y 10 mL de las muestras en las celdas del espectrofotómetro, se limpia evitando el contacto de la celda con las manos y se efectúa la lectura de color aparente de la muestra.

Los pasos realizados para la medición de color real fueron los siguientes:

- Se dejó a temperatura ambiente la muestra durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración. Se agitó y homogenizó para poder transferir a un vaso de precipitación.
- En el equipo de espectrofotómetro se eligió el programa 120 Color 455nm, se colocó 10 mL de agua destilada en una celda de espectrofotómetro, se limpió y se encendió el equipo, se armó el equipo de filtración y se transfirió 50 mL de muestra, posteriormente, se transfirió 10 mL de muestra filtrada a una celda del espectrofotómetro evitando el contacto de la celda con contaminantes del ambiente y se efectúa la lectura de color real de la muestra. (Color 1- Métodos Normalizados, 2022)

Sólidos Totales, Disueltos y Suspendidos

Las partículas sólidas en el agua pueden indicar presencia de materia orgánica, que puede ser causada por escorrentías superficiales. En altas concentraciones pueden afectar la estética, alteraciones en características organolépticas y hacerla más salina, además que pueden producir turbidez. (HACH, 2024)

Para el cálculo de Sólidos Totales se requiere de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{ST = SST + SDT}$$

Ecuación 7: Determinación de Sólidos Totales en el agua.

Donde

SST: Sólidos Suspendidos Totales

SDT: Sólidos Disueltos Totales

Para el cálculo de Sólidos Suspendidos se requiere de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{SST = \frac{Crisol\ 1 - Crisol\ 2}{Vm}}$$

Ecuación 8: Determinación de Sólidos Suspendidos en el agua.

Donde

Crisol 1: Tarado después de la muestra evaporada. (Sin filtrar)

Crisol 2: Tarado inicial del crisol.

Vm: Volumen del crisol

Para el cálculo de Sólidos Disueltos Totales se requiere de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{SDT = \frac{Crisol\ 1 - Crisol\ 2}{Vm}}$$

Ecuación 9: Determinación de Sólidos Disueltos en el agua.

Donde

Crisol 1: Tarado después de la muestra evaporada. (filtrada)

Crisol 2: Tarado inicial del crisol.

Vm: Volumen del crisol

Los pasos realizados para la medición ST, SST y SDT fueron los siguientes:

- Se dejó la muestra a temperatura ambiente durante 1 hora, ya que estaba en refrigeración, luego se agitó y homogenizó la muestra.
- Con una pinza se llevó 2 crisoles identificados y limpios a la estufa durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se ubicó a los crisoles en el desecador durante 30 minutos y se registró sus pesos. Para el análisis de ST se homogenizó la muestra y con ayuda de una pipeta se colocó 50 mL de muestra en el primer crisol tarado, se armó el equipo de filtración y se filtró la muestra que posteriormente se transfiere al segundo crisol tarado.
- Se llevaron los dos crisoles a la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas; esto permitió que el agua se evapore por completo; pasado este tiempo, los crisoles fueron colocados en el desecador por 30 minutos para su enfriamiento. Cuando ya se encontraban con una temperatura ambiente, se pesó rápidamente para evitar cambios en los crisoles y poder variar su peso.

DQO (Demanda Química de Oxígeno)

La presencia de este parámetro puede indicar contaminación por materia orgánica en el agua. Con el resultado obtenido de este parámetro se pueden establecer los futuros procesos de desinfección del agua. (HANNA, 2024)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de DQO fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su previa refrigeración. Se homogenizó y se inició con el análisis. Se encendió el digestor y seleccionó el programa de medición de DQO. una temperatura de 150 °C, dependiendo de la muestra a analizar, se escogió el vial de LR de rango bajo para aguas de consumo humano. Se colocó 2 mL de muestra con ayuda de una pipeta dentro de un vial, el blanco se preparó colocando 2 mL de agua destilada dentro de otro vial, se agitó durante 30 segundos y se liberaron los gases que se producen. Se colocó los viales en la gradilla y se introdujeron al digestor durante un tiempo de 2 horas. Pasado este tiempo se sacó los viales tomándolos de la parte superior y se los colocó en la gradilla. Se dejó enfriar durante un periodo de 30 minutos.

- Finalmente, se seleccionó el rango del vial 430 COD LR en el espectrofotómetro, se enceró el equipo con el vial de blanco y se midió la DQO con el vial de la muestra.

Fosfatos

Este parámetro es considerado un nutriente para la proliferación de organismos acuáticos; en excesos puede provocar una eutrofización. Su presencia puede ser a causa del uso de fertilizantes agrícolas; por otra parte, también se puede dar por la erosión de suelo y la materia orgánica en descomposición. (HACH, 2024)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de fosfatos fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su previa refrigeración y se homogenizó. Se escogió la programación 490 para fosfatos, en una celda se colocó 10 ml de muestra, se añadió el reactivo en polvo *PhosVer 3* a la celda, se formó una leve coloración azul por la presencia de fosfatos en la muestra, se tapó la celda y se agitó durante 30 segundos; luego se dejó en reposo durante 2 minutos.
- Finalmente se realizó el blanco con 10 mL de muestra, se limpiaron las celdas evitando el contacto con las manos, se enceró el equipo con el blanco y posteriormente se realizó la medición con la muestra.

Hierro

Ya que el hierro es un elemento natural que se encuentra en la superficie, este puede llegar al agua subterránea mediante filtración en el suelo. Por otro lado, su presencia puede producirse también por desgaste de tuberías y tanques de almacenamiento de material metálico. El hierro total es la sumatoria de hierro disuelto y particulado. Puede tener afectaciones en parámetros organolépticos como son el color, olor y sabor, produciendo un rechazo del consumidor. (HANNA, 2024)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de Hierro Total fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora debido a su previa refrigeración y se homogenizó. Se colocó en el programa 265 *Iron FerroVer*. Luego se colocó 10 ml de muestra en la celda de espectrofotómetro y se colocó el reactivo de *FerroVer* en la celda de la muestra, y se agito para mezclar.
- Apareció una coloración naranja por la presencia de hierro, se dejó en un tiempo de reacción de 3 minutos, finalmente para el blanco se colocó 10 ml de muestra en una nueva celda. Se evitó el contacto de la celda con las manos y se registró el valor obtenido.

Nitrógeno Amoniacal, Nitrato y Nitritos

El Nitrógeno se considera un elemento fundamental en el crecimiento de plantas y algas acuáticas. Su presencia se relaciona con la existencia de materia orgánica disuelta. El nitrógeno total es un indicador de contaminantes, el cual incluye todas sus formas orgánicas, amoníaco, nitrito y nitrato. El Nitrato indica una contaminación de origen agrícola o industrial; en concentraciones altas puede ser muy tóxico y perjudicial a la salud. Por otro lado, la presencia de nitritos es una forma intermedia del nitrógeno según su ciclo; por lo general es más tóxico que los nitratos. (ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de Nitrógeno Amoniacal fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su refrigeración; se homogenizó y comenzó con el análisis. Se inició el programa 380 N *Ammonia Ness*, después en un cilindro mezclador se colocó la muestra hasta la línea marcada de 25, se realizó el mismo procedimiento con el blanco, pero con agua destilada. Se agregó 3 gotas de estabilizador mineral a cada cilindro y se colocó el tapón, se invirtieron varias veces para su mezcla, luego se agregó 3 gotas de agente dispersante de alcohol polivinílico a cada cilindro, volviendo a colocar los tapones y se invirtieron varias veces para su mezcla, con ayuda de una pipeta se agregó 1,0 mL de reactivo *Nessler* a cada cilindro de mezcla.
- Finalmente, se inició el cronómetro durante 1 minuto, se vertieron 10 mL de blanco y 10 mL de muestra en celdas de espectrofotómetro, se limpiaron y se evitó el contacto de la celda con las manos y se registró el valor obtenido. (HACH,2024)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de Nitratos fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó la muestra que tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su previa refrigeración. Se homogenizó y se comenzó con el análisis. Se inició el programa 355 N Nitrato HL. Luego se preparó la muestra de 10 mL en una celda de espectrofotómetro para posteriormente agregar el reactivo *NitraVer 5*, se tapó la celda e inició el tiempo de reacción durante 1 minuto. Pasado este tiempo se dejó reposar durante de 5 minutos. Transcurrido este periodo no se observó la coloración ámbar que indicaría la presencia de Nitratos.
- Finalmente, se preparó 10 mL de muestra para el blanco, se limpiaron las dos celdas y evitando el contacto con las manos, se registró el valor obtenido.

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de Nitritos fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó que la muestra tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su refrigeración; se homogenizó y comenzó con el análisis. Se inició el programa 371 N *Nitrate LR*. Se preparó 10 mL de muestra en una celda de espectrofotómetro para posteriormente agregar el reactivo *NitriVer 3*, se agitó para poder mezclar el contenido y apareció una coloración rosa por la presencia de Nitritos, se inició el cronómetro durante 20 minutos y se dejó la muestra en un lugar oscuro.
- Finalmente, pasado este tiempo, se preparó el blanco con 10 mL de muestra, se limpiaron las dos celdas evitando el contacto con las manos y se registró el valor obtenido.

Manganeso

Es un elemento que se puede encontrar de forma natural en rocas, aguas subterráneas y aguas superficiales; su presencia puede generar un mal sabor en el agua y la generación de manchas. Debe ser controlado para mantener la calidad y estética del agua. (HANNA, 2024)

Los pasos realizados para la medición con Espectrofotometría de Manganeso fueron los siguientes:

- Para empezar, se dejó la muestra que tome una temperatura ambiente durante 1 hora por su refrigeración. Se homogenizó y se comenzó con el análisis. Se inició el programa 290 *Manganese, LR*. Luego se preparó el blanco con 10 mL de agua destilada en una celda de espectrofotómetro y en otra celda se colocó 10 mL de muestra.
- Se agregó 10 mL de ácido ascórbico a cada celda y se mezcló, luego se agregó 12 gotas de cianuro alcalino a cada celda y se agito, se formó una ligera turbidez, la cual se dispersó agregando 12 gotas de PAN al 0,1 % en cada celda. Apareció un color naranja por la presencia de manganeso; se dejó que reaccione durante 2 minutos. Se limpiaron las celdas tomándolas del cabezal para evitar cualquier tipo de contaminación y se registró el valor obtenido.

Demanda de Cloro

Permite identificar la dosis y concentración adecuada para la desinfección del agua con cloro líquido, removiendo contaminantes, asegura la eliminación de patógenos, garantiza seguridad y calidad al consumidor. Con una buena desinfección se pueden evitar compuestos como los trihalometanos y permite el cumplimiento de normativas y estándares de calidad. (Carbotecnia, 2024)

Procedimiento para el Ensayo Demanda de Cloro:

- Para este análisis se necesitó un volumen de muestra de 40 L para conocer la cantidad de cloro necesaria en la desinfección del agua. Se recolectaron 2 muestras: 38 L de la vertiente Curipgyo y 2 L de la Galería de Infiltración, dando una cantidad de 40 L debido a su caudal de aporte. Se llenó completamente el recipiente sin espacios de aire, lo que evitó la oxidación de la muestra en su traslado. Luego, con el equipo de Prueba de Jarras, reactivos de DPD (Dietil Parafenileno Diamina) para análisis de cloro y una botella de cloro comercial a una concentración de 10,9 %, se comenzó con el análisis.

- Se realizaron los respectivos cálculos para la determinación de solución madre a utilizar. Con el reactivo DPD (Dietil Parafenileno Diamina) para cloro total se midió la muestra con el equipo colorímetro para obtener un valor de referencia inicial. Con el valor obtenido de la solución madre se colocó en balones de aforo de 250 mL, 1 ml de muestra y se aforó con agua destilada, también se escogieron las concentraciones y volúmenes a retirar para cada jarra. Se realizó la medición del blanco para acondicionar el equipo con la solución madre de la segunda dilución, se colocó el reactivo DPD para cloro libre, registrando este valor.
- La muestra se homogenizó antes de comenzar con el ensayo. La jarra 11 se eligió como blanco y se retiró el mismo volumen de la jarra 6, luego con ayuda de jeringas se colocaron las concentraciones de la solución madre de la segunda dilución para cada jarra, en la jarra 11 se colocó 6 mL, como se muestran los valores de la *tabla 3*. Las soluciones de las jeringas fueron agregadas a las jarras al mismo tiempo a una velocidad inicial de 120 revoluciones por minuto, transcurrido este tiempo se aumenta la velocidad a 25 revoluciones por minuto durante 30 minutos.
- Pasado los 30 minutos se recolectó una muestra de 10 mL con ayuda de 10 pipetas de cada jarra en distintas celdas de espectrofotómetro para evitar demoras en la medición, en cada muestra se colocó el reactivo DPD para cloro libre, con los resultados obtenidos se realizó la gráfica o curva de demanda de cloro.

Para el cálculo de la Solución Madre y de las concentraciones para las jarras se requiere de las siguientes fórmulas.

$$[Cloro Comercial] \times 10000 = \frac{mg}{L} NaClO \times \frac{g \text{ de } Cl}{g \text{ de } NaClO}$$

$$= Solución Madre Cl \text{ mg/L}$$

Ecuación 10: Determinación miligramos en litro de cloro comercial.

Donde

Concentración de Cloro en %: Concentración comercial del cloro en este caso al 10,9 %.

g/Cl: Peso atómico del cloro en g/mol.

g/NaCl: Peso molecular de NaClO en g/mol.

$$\frac{\text{Solución Cl} \frac{\text{mg}}{\text{L1}}}{250 \text{ mL}} = \frac{\text{Solución Cl} \frac{\text{mg}}{\text{L2}}}{250 \text{ mL}} = \text{Solución} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ CL}$$

Ecuación 11: Determinación de mg/L a utilizar de Cloro.

Se realizó 2 diluciones de 1 mL en 250 mL.

Donde

Solución Cl mg/ L1: Solución madre obtenida de Cloro.

Solución Cl mg/ L2: Solución madre obtenida de Cloro.

$$V1 = \frac{C2 \times V2}{C1}$$

Ecuación 12: Determinación de volumen a utilizar

Donde

C1: Solución Madre Obtenida.

C2: Solución Cl mg/L2

V2: Volumen de la dilución de 250 mL

$$\frac{DC \text{ mg Cl}}{\text{L Agua}} = \frac{\text{g de NaClO}}{\text{g de Cl}} = \frac{\text{mg NaClO}}{\text{L Agua}} = \frac{1 \text{ L Cloro}}{(10,9\%) \text{ mg NaClO}} = \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \frac{\text{mL (10,9\%)}}{1 \text{ L}} = \frac{\text{mL CL (10,9\%)}}{1000 \text{ L Agua}}$$

Ecuación 13: Estequiometría para dosificación de cloro líquido NaClO.

Donde

DC mg Cl: Resultado obtenido de la curva de demanda de cloro.

g/NaCl: Peso molecular de NaClO en gramos.

g/Cl: Peso atómico del cloro en gramos.

[10,9 %] mg NaClO: Concentración de cloro comercial en mg NaClO

En la siguiente tabla se pueden observar los valores tomados para la solución madre en mL y las respectivas concentraciones para cada jarra en mg/L.

Tabla 3: Volúmenes de la solución Madre a utilizar y concentraciones iniciales.

Jarras	Volumen solución Madre mL	Concentración en las Jarras mg/L
1	1	0,21
2	1,5	0,31
3	2	0,42
4	3	0,62
5	4	0,83
6	5	1,04
7	6	1,24
8	7	1,45
9	8	1,66
10	9	1,86
11	Blanco	2,08

Parámetros Microbiológicos

Coliformes Totales y Fecales

En la tierra y el agua superficial con lugares comunes para encontrar bacterias coliformes y en los intestinos de animales y personas, una de las más conocidas es la bacteria *Escherichia Coli*. La posible presencia de patógenos en el agua puede detectarse mediante coliformes totales, en cambio los coliformes fecales son un indicativo específico de contaminación de origen fecal, lo que permite evaluar un riesgo sanitario. Su determinación fue mediante tubos múltiples. (LATAM: Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 2023)

Los pasos realizados para la medición de Coliformes Totales y Fecales fueron los siguientes:

- Se homogenizó la muestra para lograr la uniformidad de los microorganismos y se etiquetaron los tubos de forma clara para su identificación; además, el área de trabajo se desinfectó con alcohol, se utilizó una lámpara de alcohol.
- Para este análisis se utilizó caldo de lactosado con indicador de purpura de bromocresol, el cual contiene lactosa que permite fermentar a las bacterias. Se utilizaron 10 tubos por cada muestra, de los cuales se transfirió 1 mL de la muestra a cada uno. Se trabajó siempre cerca de la lámpara de alcohol, para evitar contaminaciones. Después de terminar con la transferencia de las muestras, fueron incubadas a 35°C durante 48 horas.
- Después de las 48 horas, 3 tubos tuvieron un cambio de coloración amarillenta y aumentaron su turbidez, considerándolos como positivos, 2 tubos de la muestra tomada en la vertiente y 1 tubo de la muestra compuesta. Con estos resultados se realizó la prueba confirmativa, con ayuda de un aza, se transfirió a 6 nuevos tubos, 3 con medio EC para coliformes fecales que se dejaron en baño maría a 35° y los otros 3 con caldo lactosado para coliformes totales, los cuales se colocaron en la incubadora a 44°C durante 24 horas. Pasado este tiempo, se identificó de los tubos a baño maría que no existió ningún cambio, considerando negativo en coliformes fecales, pero en el caso de los tubos de la incubadora se observó la presencia de una burbuja, lo que indicó un resultado positivo de coliformes totales.

Cryptosporidium

Es una bacteria común en la transmisión mediante el agua, es importante el conocimiento de esta bacteria en el agua, ya que tiene una gran resistencia a varios métodos de desinfección, su presencia indica una contaminación de origen microbiológico y puede generar brotes de enfermedades en los consumidores. Su origen proviene de reservorios de animales y contaminación fecal. (Universidad de Zulia Venezuela ,2017)

Este parámetro fue analizado en un laboratorio particular *Seidlaboratory*; su resultado se puede observar en la tabla 24.

3 RESULTADOS

En la siguiente tabla y gráfica se aprecian los resultados obtenidos del aforo decaudal de ingreso proveniente de la vertiente superficial.

Tabla 4: Resultados Aforos del Caudal de Ingreso.

N° Aforó	Hora	Q obtenido L/s
1	8:40 a. m.	18,5
2	8:45 a. m.	20
3	8:50 a. m.	19
Promedio		19,16 ~ 19 L/s

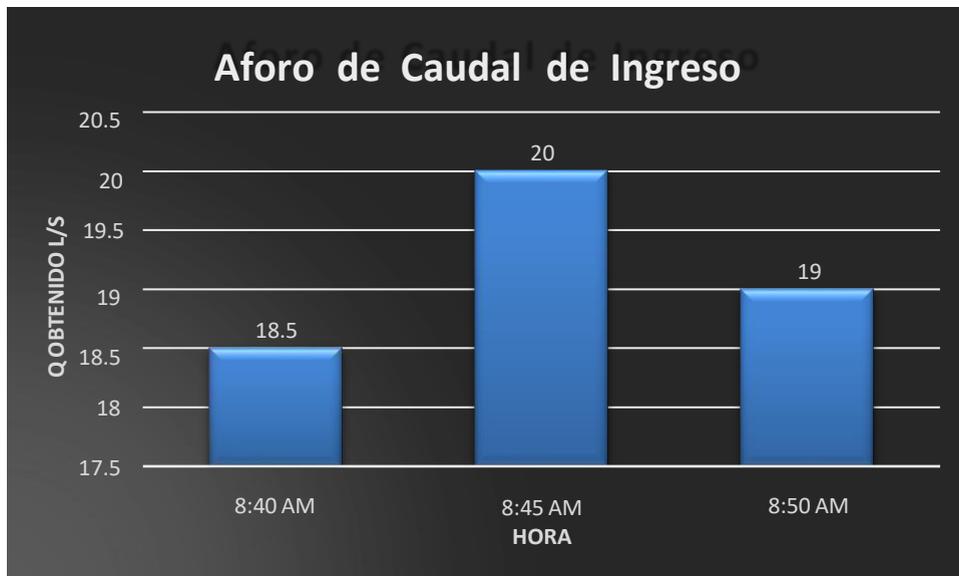


Figura 5: Gráfica Aforo de Caudal de Ingreso a la Planta 1.

La Planta 1 de Tambillo, con un caudal de 20 L/s, abastece adecuadamente a los aproximadamente 10,000 habitantes de la parroquia, garantizando un suministro suficiente para el consumo doméstico, actividades públicas y otras necesidades. Este caudal no solo cubre las demandas actuales, sino que también permite mantener reservas estratégicas en caso de emergencias o fallos operativos en la planta. Además, ofrece la flexibilidad necesaria para futuras expansiones y adaptaciones a medida que la población crece

En la siguiente tabla y gráfica se pueden observar los resultados obtenidos de cloro libre residual de los puntos establecidos de muestreo, además de su comparación y límites permisibles con la norma INEN 1108.

Tabla 5: Resultados Obtenidos de cloro libre residual en los puntos de muestreo.

Punto de Muestreo	Normativa Ecuatoriana INEN 1108	Resultados Cloro Libre Residual	pH
La Joya- Av. Carlos Brito- Planta 1 de la JAAPT	0,3 a 1,5	0,84 mg/L Cl ₂	6,5
Conexión 815- Primera casa que recibe el agua desinfectada.	0,3 a 1,5	1,01 mg/L Cl ₂	6,5
Cementerio de Tambillo-Punto más cercano a la Planta 1	0,3 a 1,5	0,01 mg/L Cl ₂	6,5
Parque de Tambillo- Último punto que recibe el agua desinfectada.	0,3 a 1,5	0,22 mg/L Cl ₂	6,5



Figura 6: Gráfica Resultados Obtenidos de Cloro Libre Residual

Como se pueden observar los resultados de muestreo en las áreas del Cementerio y el Parque de Tambillo están fuera del límite permisible según la Normativa Ecuatoria INEN 1108 para el consumo humano. Por lo que se debe realizar una revisión de la dosificación que se está aplicando.

En la siguiente tabla se presenta el plan de muestreo realizado para el análisis de los distintos parámetros, al igual que su preservación y conservación con guía de la normativa INEN 2169.

Tabla 6: Plan de Muestreo realizado con la Normativa INEN 2169 para Muestreo Manejo y Conservación de Muestras.

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen típico mL	Técnica de preservación	Tiempo de preservación
Acidez y Alcalinidad	Plástico	1000	Acidificación pH con H ₂ SO ₄	1 mes
Cloruros	Plástico	100	-----	1 mes
Color	Plástico	500	Enfriamiento 1°C y 5°C	5 días
DQO	Plástico	100	Acidificar pH con H ₂ SO ₄	6 meses
Dureza Total y Cálcica	Plástico	100	Acidificar pH con HNO ₃	1 mes
Fósforo Total	Plástico	250	Acidificación pH con H ₂ SO ₄	1 mes
Hierro Total	Plástico	100	Acidificar pH con HNO ₃	1 mes
Nitrógeno Amoniacal	Plástico	250	Acidificación pH con H ₂ SO ₄	1 mes
Nitrato	Plástico	250	Enfriamiento 1°C y 5°C	24 h
Nitrito	Plástico	250	Enfriamiento 1°C y 5°C	24 h
Manganeso	Plástico	100	Acidificar pH con HNO ₃	1 mes
Sólidos Totales	Plástico	100	Enfriamiento 1°C y 5°C	24 h
Sólidos Suspendidos	Plástico	500	Enfriamiento 1°C y 5°C	2 d
Coliformes Totales y Fecales	Fascos estériles	300	Enfriamiento 1°C y 5°C	24 h
Cryptosporidium	Fascos estériles	500	Enfriamiento 1°C y 5°C	24 h

RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

Las siguientes tablas muestran los resultados de cada parámetro analizado, comparados con las respectivas normas para consumo humano de agua.

Alcalinidad

Tabla 7: Resultados Obtenidos de Alcalinidad.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Vertiente Curipgyo	-----	-----	92 mg/L
Galería Filtración	-----	-----	80 mg/L
Mezcla de las 2 fuentes	-----	-----	90 mg/L

Ya que los valores obtenidos no se encuentran establecidos en las normativas ecuatorianas ni internacionales como la Normativa Mexicana 127 SSA1 según bibliografía, no son valores altos que pueden llegar a provocar alteraciones en el proceso de desinfección. El valor más alto fue de 92 mg/L de la vertiente Curipgyo y el más bajo de 80 mg/L proveniente de la Galería de Infiltración. Con estos resultados se puede descartar la degradación de las tuberías por causa de corrosión e incrustaciones y la acumulación de minerales, ya que valores menores a 30 mg/L pueden contribuir a la corrosión y valores mayores a 100 mg/L generan incrustaciones.

Acidez

Tabla 8: Resultados Obtenidos de Acidez.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Vertiente Curipgyo	-----	-----	42,39 mg/L
Galería Filtración	-----	-----	28,75 mg/L
Mezcla de las 2 fuentes	-----	-----	33,33 mg/L

Ya que los valores obtenidos no se encuentran establecidos en las normativas ecuatorianas ni internacionales como la Normativa Mexicana 127 SSA1 según bibliografías, no son valores altos que pueden llegar a provocar alteraciones en el proceso de desinfección. El valor más alto de acidez fue el de la vertiente con 42,39 mg/L. Con estos resultados obtenidos se puede descartar corrosión en tuberías y reactividad en el agua. Si estos valores fueran mayores a 100 mg/L generarían la emulsión de metales tóxicos y compuestos orgánicos volátiles como el cloro.

Cloruros

Tabla 9: Resultados Obtenidos de Cloruros.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	250 mg/L	-----	0,0059 mg/L

El resultado obtenido de 0,0059 mg/L no supera el límite permisible establecido en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua de 250 mg/L, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador no se encuentra identificado. Por lo que evita la salinidad en el agua, ya que en concentraciones altas esta puede alterar el sabor del agua y generar rechazo en el consumidor.

Dureza Total

Tabla 10: Resultados Obtenidos de Dureza Total.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	500 mg/L	-----	80 mg/L

El resultado obtenido fue de 80 mg/L por lo que no supera el límite permisible de 500 mg/L establecido en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador no se encuentra identificado. Por lo que evita la generación de incrustaciones en las tuberías, olores y sabores. Se denomina con una dureza moderada.

Dureza Cálctica

Tabla 11: Resultados Obtenidos de Dureza Cálctica.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	500 mg/L	-----	50 mg/L

El resultado obtenido fue de 50 mg/L por lo que no supera el límite permisible de 500 mg/L establecido en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador no se encuentra identificado. Por lo que evita la generación de incrustaciones en las tuberías, olores y sabores en el agua. Se denomina con una dureza blanda.

Color Aparente

Tabla 12: Resultados Obtenidos de Color Aparente.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	-----	-----	2Pt-Co

Ya que el valor obtenido no se encuentra establecido en las normativas ecuatorianas ni internacionales como la Normativa Mexicana 127 SSA1 según bibliografías, no son valores altos que pueden llegar a provocar alteraciones en el proceso de desinfección, pero se realizó una comparación con la normativa de INEN 1108 para agua de consumo humano que establece un valor de 15 Pt-Co, por lo que el valor obtenido esta dentro del límite permisible. Se descarta la presencia de contaminantes naturales o artificiales como materia orgánica y contaminaciones provenientes de industrias urbanas.

Color Real

Tabla 13: Resultados Obtenidos de Color Real.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	20 Pt-Co	75 Pt-Co	10 Pt-Co

El resultado de 10 Pt-Co en color real no superó los límites permisibles establecidos en la Normativa Mexicana 127 SSA 1 de 20 Pt- Co ni en el Acuerdo Ministerial 0,97 A de 75 Pt-Co, por lo que permite descartar la presencia de contaminantes naturales como artificiales como materia orgánica, contaminaciones provenientes de industrias o urbanas.

DQO

Tabla 14: Resultados Obtenidos de DQO.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	-----	4 mg/L	3 mg/L

El resultado de 3 mg/L en DQO no supero el límite permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 0,97 A de 4 mg/L, en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua, no se encuentra identificado. Por lo que permite descartar un consumo excesivo de oxígeno, y se establece que existe una buena oxigenación de materia orgánica en el agua.

Fosfatos

Tabla 15: Resultados Obtenidos de Fosfatos.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	-----	-----	0,71 mg/L

Ya que el valor obtenido no se encuentra establecido en las normativas ecuatorianas ni internacionales como la Normativa Mexicana 127 SSA1 según bibliografías, no son valores altos que pueden llegar a provocar alteraciones en el proceso de desinfección. El resultado obtenido de 0,71 mg/L, se debe considerar que puede causar un crecimiento de distintos tipos de algas u microorganismos ya que es considerado un nutriente, aumentando las cantidades de estos en el agua.

Hierro

Tabla 16: Resultados Obtenidos de Hierro.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	-----	1,0 mg/L	0,04 mg/L

El resultado obtenido fue de 0,04 mg/L, por lo que no superó el límite permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 0,97 A, en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua no se encuentra identificado. Por lo que se puede descartar generación de olores, manchas y mal sabor.

Manganeso

Tabla 17: Resultados Obtenidos de Manganeso.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	0,15 mg/L	-----	0,021 mg/L

El resultado obtenido fue de 0,021 mg/L, por lo que no superó el límite permisible establecido en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua de 0,15 mg/L, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador, no se encuentra identificado. Por lo que se pueden descartar distintas enfermedades por concentraciones altas de manganeso.

Nitrógeno Amoniacal

Tabla 18: Resultados Obtenidos de Nitrógeno Amoniacal.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	0,50 mg/L	-----	< 0,50 mg/L

El resultado obtenido fue menor a los 0,50 mg/L una ausencia de Nitrógeno Amoniacal, por lo que está dentro del límite permisible establecido en la Normativa Mexicana para Consumo y Uso del Agua, en el caso del Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador no se encuentra identificado. Por lo que se puede descartar como contaminante tóxico para el medio ambiente y la generación de eutrofización en el agua.

Nitrato

Tabla 19: Resultados Obtenidos de Nitrato.

Lugar de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	10 mg/L	50 mg/L	1,3 mg/L

El resultado obtenido fue de 1,3 mg/L, por lo que no superó el límite permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 0,97 A de 50 mg/L ni en la Normativa Mexicana 127 SSA 1. Por lo tanto, se pueden descartar disminuciones en el oxígeno disuelto y cambios en características organolépticas del agua.

Nitrito

Tabla 20: Resultados Obtenidos de Nitrito.

Lugar de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	0,05 mg/L	0,2 mg/L	0,020 mg/L

El resultado obtenido fue de 0,020 mg/L, por lo que no superó el límite permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 0,97 A ni en la Normativa Mexicana 127 SSA 1. Por lo que se pueden descartar enfermedades cancerígenas en los consumidores.

Sólidos

Tabla 21: Resultados Obtenidos de Sólidos en el Agua.

Toma de Muestra	Sólidos	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	Suspendidos	-----	-----	0,0002 mg/L
Mezcla de las 2 fuentes	Disueltos	1000 mg/L	-----	0,0002 mg/L
Mezcla de las 2 fuentes	Totales	-----	-----	0,0004 mg/L

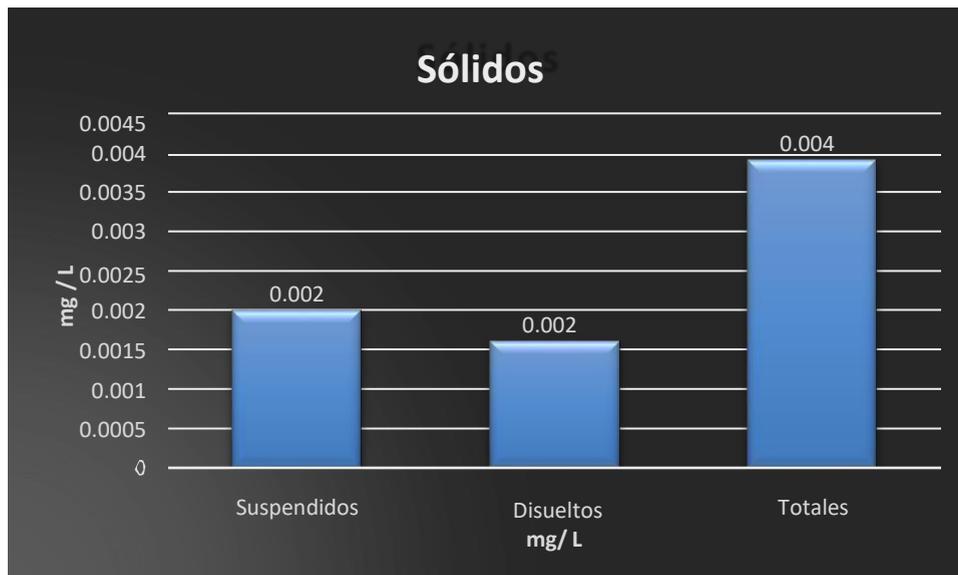


Figura 7: Gráfica Sólidos Presentes en el Agua

Ya que los resultados obtenidos no se encuentran establecidos en las normativas ecuatorianas ni internacionales como la Normativa Mexicana 127 SSA1 según bibliografías se encuentran valores altos de 1000 mg/L, que pueden llegar a provocar alteraciones en el proceso de desinfección. Solo en el caso de los sólidos disueltos se pudo comparar el valor de 0,0002 mg/L que cumple con la Normativa Mexicana 127 SSA1. En esta muestrase pudo notar una presencia muy baja de sólidos en el agua, por lo que se pueden descartar cambios organolépticos en el agua, obstrucciones y corrosión en el sistema de tratamiento. Este análisis puede variar su cantidad de sólidos ya que depende de las precipitaciones en las fuentes de abastecimiento.

Coliformes Totales

Tabla 22: Resultados Obtenidos de Coliformes Totales.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	2 NMP/100 ml	1000 NMP/100 ml	1.1 NMP/100 ml

Ya que existe un valor obtenido de 1.1 NMP/100 ml se puede identificar que existe una presencia baja de coliformes totales, por lo que está dentro del límite de la Normativa Mexicana 127 SSA 1 y en el Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador. Aunque supresencia es baja, se debe tomar en cuenta que existe la presencia de fosfatos, por lo que puede generar un mayor crecimiento de estas bacterias.

Coliformes Fecales

Tabla 23: Resultados Obtenidos de Coliformes Fecales.

Toma de Muestra	Límite Permisible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permisible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	Ausencia	1000 NMP/100 ml	< 1,1 NMP/100 ml

El resultado obtenido fue una ausencia, por lo que cumple con la Normativa Mexicana 127 SSA 1 y con el Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador; es un indicador de los más importantes, ya que garantiza seguridad y calidad del agua. Con el resultado obtenido, se pueden evitar enfermedades por presencia de patógenos y contaminación de origen fecal.

N° de tubos con reacción positiva de 10 tubos	Índice NMP/100	Límites al 95% Confianza	
		Sup	Inf
0	<1,1		3,4
1	1,1	0,051	5,9
2	2,2	0,37	8,9
3	3,6	0,91	9,7
4	5,1	<1,6	13
5	6,9	2,5	25
6	9,2	3,3	29
7	12	4,8	24
8	16	5,8	34
9	23	8,1	53
10	>23	13	

Figura 8: Índice de Número más Probable (NMP)

Fuente: Standard Methods 9221C. (2017)

Cryptosporidium

Tabla 24: Resultados Obtenidos de *Cryptosporidium*.

Toma de Muestra	Límite Permissible Normativa Mexicana 127 SSA 1	Límite Permissible Acuerdo Ministerial 097-A del Ecuador	Valor Obtenido
Mezcla de las 2 fuentes	-----	-----	< 1,1 NMP/100 ml

Ya que el valor obtenido no se encuentra establecido en las normativas ecuatorianas ni internacionales, como la Normativa Mexicana 127 SSA1, pero se comparó con la normativa INEN 1108 que indica ausencia para este parámetro por lo que cumple. Lo que evita enfermedades en los consumidores por contaminación de origen microbiológico y aumenta la efectividad del cloro en la eliminación de microorganismos y garantiza la seguridad para su consumo.

Demanda de Cloro

Tabla 25: Resultados Obtenidos de Prueba de Jarras.

Jarra	Co (mg/L)	C f (mg/L)
1	0	
2	0,62	0,32
3	0,82	0,42
4	1,02	0,53
5	1,22	0,76
6	1,42	1,42
7	1,62	1,28
8	1,82	1,52
9	2,02	1,72
10	2,22	1,92
11 (Blanco)	2,42	1,22



Figura 9: Curva de comportamiento de Demanda de Cloro

El resultado obtenido de la prueba de jarras para demanda de cloro permitió obtener un valor de demanda de cloro de 1,42 mg/L por lo que es un valor óptimo para la desinfección del agua, ya que se encuentra dentro de los límites de 0,3 a 1,5 mg/L establecidos por la Normativa INEN 1108 para Agua de Consumo Humano.

Con el resultado obtenido de 1,42 mg/L en la curva de demanda de cloro se realizó la estequiometría para NaClO con un resultado de 27 mg/L, por lo que con el caudal de ingreso se obtienen los siguientes resultados a dosificar.

Tabla 26: Dosificaciones Obtenidas para desinfectar el caudal de ingreso de 20 L/s.

Caudal de Ingreso	Concentración de NaClO %	Tiempos en el que se debe dosificar con un Hipoclorador de Sodio
20 L/s	10,9	1,94 L/h
20 L/s	10,9	32,36 mL/min
20 L/s	10,9	0,53 mL/s

Estos resultados y los tipos de cloración con hipoclorito de sodio se pueden apreciar en el Manual de Operación en el Anexo V.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

Con los análisis y resultados obtenidos de los parámetros, se calculó el valor del ICA correspondiente para cada parámetro y así tener un conocimiento de la calidad en la que se encuentra el agua proveniente de la vertiente Curipgyo y de la Galería de Infiltración, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 27: Resultados Obtenidos de la Caracterización para el ICA.

Parámetros	Valor Obtenido mg/L	Valor Calculado	Valor del ICA	Valor Final
Alcalinidad Vertiente	92	45,28	1	45,28
Alcalinidad Galería Infiltración	80	46,47	1	46,47
Alcalinidad Muestra Compuesta	90	45,46	1	45,46
Cloruros	0,0059	100	0,5	50
Color Real	10	62,36	1	62,36
Dureza Total	80	68,36	1	68,36
Nitrógeno Amoniacal	0,00	9,43	2	18,87
Nitrato	1,3	100	2	200
Sólidos Suspendidos Totales	0,0002	100	1	100
Sólidos Disueltos Totales	0,00016	100	0,5	50
Coliformes Totales	1,1	95	3	285
Coliformes Fecales	< 1,1	100	4	400
TOTAL		Σ	18	1371,8

$$ICA = \frac{\text{Sumatoria Total de los parámetros finales}}{\text{Total valores del ICA}} = 76,21 \sim 76\%$$

Ecuación 14: Determinación Índice de Calidad del Agua.

Tabla 28: Clasificación Índice de Calidad del Agua propuesta por Brown

Fuente: Lobos, José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES (2002)

Calidad De Agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 90
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Con el resultado obtenido del ICA de 76% se puede identificar en la tabla de evaluación de contaminantes que tiene una calidad buena.

4 CONCLUSIONES

- La optimización del proceso de desinfección del agua en la Planta 1 de Tambillo tuvo un resultado significativo en la calidad del tratamiento de agua, cumpliendo estándares y normativas para el consumo de agua potable. Esto se logró con el enfoque sistemático desde la evaluación inicial de las condiciones de la planta hasta la realización de una guía operativa detallada para un cambio de desinfección y procesos de dosificación, además no solo garantizó el suministro de agua más segura para la comunidad, sino que permitió un uso eficiente de los recursos, reduciendo impactos ambientales que genera el cloro gas ya que contamina la atmósfera alterando a ecosistemas cercanos, más aún si son hábitats sensibles, genera subproductos clorados y puede tener fugas por lo que es peligroso, en el caso de costos el cloro en estado líquido tiene un valor menor en el mercado a diferencia del cloro gas es más fácil de transportar, almacenar y es seguro.
- La evaluación realizada de las características físicas, químicas y microbiológicas están dentro de normativas y acuerdos vigentes para el consumo humano de agua potable, sin embargo, se debe tomar en cuenta que existe la presencia baja de coliformes totales de 1.1 NMP/100 mL, que se debe tomar en cuenta para el proceso de desinfección.
- Es fundamental considerar las posibles variaciones en el caudal de ingreso, actualmente de 20 L/s, debido a cambios en la demanda de agua, condiciones climáticas y eventos imprevistos. A pesar de estas posibles fluctuaciones, el caudal actual ha demostrado ser suficiente para abastecer a la población de la parroquia de Tambillo en sus necesidades actuales.
- Como los resultados del estado del agua, no mostraron grandes variaciones que puedan perjudicar al sistema de desinfección actual, ya que tiene un valor de 76% considerado bueno por parte del Índice de Calidad del Agua; aun así, se necesita realizar un ajuste al proceso de cloración y dosificación para mantener una eficiencia en la desinfección constante.
- Los resultados obtenidos de la demanda de cloro de 1,42 mg/L revelaron una concentración óptima de hipoclorito de sodio para su aplicación, el cual está dentro de los límites permisibles de la normativa INEN 1108 y asegura la eliminación eficaz contra patógenos sin alterar la calidad del agua ni la generación

de subproductos nocivos.

- Con un cambio de desinfección en la Planta 1 mediante hipoclorito de sodio, ofrecerá ventajas de control y mantenimiento es fácil su manejo y dosificación, lo que permite simplificar las operaciones de diarias y la necesidad de equipos especiales y costosos a diferencia de la cloración a gas
- Se ha elaborado un manual operativo que incluye procedimientos normalizados para la dosificación, monitoreo y ajustes para la cloración con hipoclorito de sodio. Por lo que permite una operación eficiente y segura, mejorando la estabilidad y la confiabilidad en el suministro de agua.
- Con la realización del Manual de Operación se logró especificar los procedimientos que deben ser realizados al momento de la desinfección y la dosificación en el agua, incluyendo medidas de control, seguridad y calidad, para los operadores de la Planta 1.

5 RECOMENDACIONES

- Se debe implementar un monitoreo y evaluaciones constantes para el proceso de desinfección, asegurando la calidad del agua y estándares de potabilización; también considerar tecnologías nuevas como la hipo cloración de sodio mediante bombas dosificadoras para mejorar el rendimiento en el proceso de desinfección. Realizar capacitaciones constantes al personal sobre los procedimientos de la desinfección y manipulación de equipos. Promover alianzas para investigaciones en la optimización de la desinfección del agua.
- Es recomendable implementar cronogramas para la evaluación del estado de los equipos utilizados, tener registros de los niveles del cloro dosificado y cloro libre residual. También desarrollar sistemas de alertas sobre cualquier interrupción de la planta, permitiendo intervenciones rápidas.
- Las condiciones actuales de los equipos utilizados en el proceso de desinfección son adecuadas, ya que se realizó recientemente un mantenimiento y limpieza de las instalaciones. Sin embargo, es fundamental que el aireador de bandejas esté ubicado antes de la dosificación, y que el caudal proveniente de la Galería de Infiltración pase por una desinfección, ya que su ingreso es de forma directa a los tanques de almacenamiento.
- Es fundamental cambiar la cloración actual de tipo gaseoso a líquido, ya que esta última es más compatible con el proceso de desinfección actual de la Planta 1. Además, la cloración líquida es más económica y accesible en comparación con la cloración gaseosa.
- Del manual de operación asegurar actualizaciones y revisiones periódicamente que reflejen cambios en los estándares de calidad o avances en tecnología, fomentar canales de comunicación para operadores y consumidores sobre la importancia del agua desinfectada.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Misión “Agua y saneamiento para todos”. (2018). Secretaría Nacional de Planificación.

De: <https://www.planificacion.gob.ec/senplades-senagua-y-municipios-de-loja-se-comprometen-para-ejecutar-la-mision-agua-y-saneamiento-para-todos/>

Resumen de Salud Pública: Cloro (Chlorine) PHS ATSDR. (2016).

De: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs172.html#:~:text=El%20cloro%20se%20disuelt%20en,a%20cloruro%20y%20%20C3%A1cido%20hipocloroso.

Tratamiento y Desinfección de Agua para Consumo Humano Por Medio de Cloro. (2006).

Ministerio de Salud Pública de Guatemala.

De: <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214-parte01.pdf>

Calidad del agua Muestreo Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo y técnicas de muestreo (ISO 5667-1:2023). (2024). Norma Española UNE. De:

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0072458>

MANUAL, MÉTODOS ESTÁNDARES PARA AGUAS. (2024). HACH. De:

<https://es.hach.com/manual-metodos-estandares-para-aguas-y/product-downloads?id=24761049282>

Determinación de cloruro en agua. (2023). Centro Universitario de Estudios

Medioambientales. De: <https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/050b5695-e1f3-4b7c-aed3-af9af15aa999/content>

Hanna Instruments Chile. (2024, 4 julio). *Medidores de DQO de alta precisión Hanna*

Instruments Chile. De: <https://hannachile.com/dqo-medidores-hanna-chile/>

Desinfección del agua mediante cloro libre y combinado. (2024). Carbotecnia. De:
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/desinfeccion/desinfeccion-agua-cloro-Demanda%20de%20cloro,sucedan%20en%20fracciones%20de%20segundo>.

Presencia de Cryptosporidium Parvum y Giardia Lamblia en agua potable. (2017).

Universidad de Zulia Venezuela. De:

[https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-](https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-Bracho/publication/313839370_Presence_of_Cryptosporidium_parvum_and_Giardia_lamblia_in_drinking_water/links/58a92d70aca27206d9b27e7b/Presence-of-Cryptosporidium-parvum-and-Giardia-lamblia-in-drinking-water.pdf)

[Bracho/publication/313839370_Presence_of_Cryptosporidium_parvum_and_Giardia_lamblia_in_drinking_water/links/58a92d70aca27206d9b27e7b/Presence-of-](https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-Bracho/publication/313839370_Presence_of_Cryptosporidium_parvum_and_Giardia_lamblia_in_drinking_water/links/58a92d70aca27206d9b27e7b/Presence-of-Cryptosporidium-parvum-and-Giardia-lamblia-in-drinking-water.pdf)

[Cryptosporidium-parvum-and-Giardia-lamblia-in-drinking-water.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mariangela-Bracho/publication/313839370_Presence_of_Cryptosporidium_parvum_and_Giardia_lamblia_in_drinking_water/links/58a92d70aca27206d9b27e7b/Presence-of-Cryptosporidium-parvum-and-Giardia-lamblia-in-drinking-water.pdf)

Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano: La realidad en el Ecuador. (2023).

LATAM: Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. De:

<https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/download/690/897/1261>

Técnicas de muestreo de aguas. Recolección, manejo y preservación de muestras.

(2024). HANNA Colombia.

De:https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2022/03/Tecnicas_de_muestreo_en_agua_residual.pdf

Técnicas de muestreo de aguas. Recolección, manejo y preservación de muestras.

(2024). HANNA Colombia.

De:https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2022/03/Tecnicas_de_muestreo_en_agua_residual.pdf

Limón, R., Limón, R., & Limón, R. (2022, 25 enero). La sofisticada arma de las bacterias

para figurar entre los seres vivos más rápidos del mundo. El País. De:

<https://elpais.com/ciencia/2022-01-25/la-sofisticada-arma-de-las-bacterias-para-figurar-entre-los-seres-vivos-mas-rapidos-del-mundo.html>

Alcocer, M. (2017). GoConqr - Determinación de cloruros totales. GoConqr. De: <https://www.goconqr.com/en/flowchart/10495866/determinacion-de-cloruros-totales>

Sysop. (2020, 17 agosto). Sólidos disueltos y purificación del agua. Fluence.

De: <https://www.fluencecorp.com/es/purificacion-de-agua-y-solidos-disueltos/>

¿Qué son los nitratos y cómo afectan al medio ambiente y la salud humana?

(2021). Habla Rural. De: https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2021/04/Nitratos_Qu%C3%A9Son.pdf

Nitrógenos totales. (2011). FICHA TECNICA Sistema de Información del Medio Ambiente.

De: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_totales_13.pdf

Aema. (2018). Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales. iAqua.

De: <https://www.iagua.es/noticias/aema/eliminacion-nitrogeno-aguas-residuales>

Práctica 1 Determinación de Fosfatos en Aguas por Espectrofotometría. (2003). Técnicas Avanzadas En Química. De: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>

Doménech, J. (2003, 1 diciembre). Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano. Offarm. De: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-cryptosporidium-giardia-problemas-emergentes-el-13055926#:~:text=Son%20muchos%20los%20autores%20que,relaci%C3%B3n%20con%20el%20protozoo%20pat%C3%B3geno.>

7 ANEXOS

ANEXO I

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Quito, D.M. 31 de julio de 2024

De mi consideración:

Yo, SANDRA PATRICIA PANCHI, en calidad de directora del Trabajo de Integración Curricular titulado OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA POTABILIZADORA asociado a la OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE TAMBILLO, elaborado por la estudiante MELANI ESTEFANIA LÓPEZ MOGOLLÓN de la carrera en TECNOLOGÍA SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL, certifico que se ha solicitado a la Biblioteca General el informe para la revisión de originalidad del documento escrito producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 11%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
SANDRA PATRICIA
PANCHIJIMA

Ing. Sandra Patricia Panchi, Mgt.
Docente
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

TRABAJO(MELANI ESTEFANIA LOPEZ MOGOLLON)

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

4%

2 bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

3 Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey

Trabajo del estudiante

1%

4 Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1%

5 hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

6 vsip.info

Fuente de Internet

<1%

7 patents.google.com

Fuente de Internet

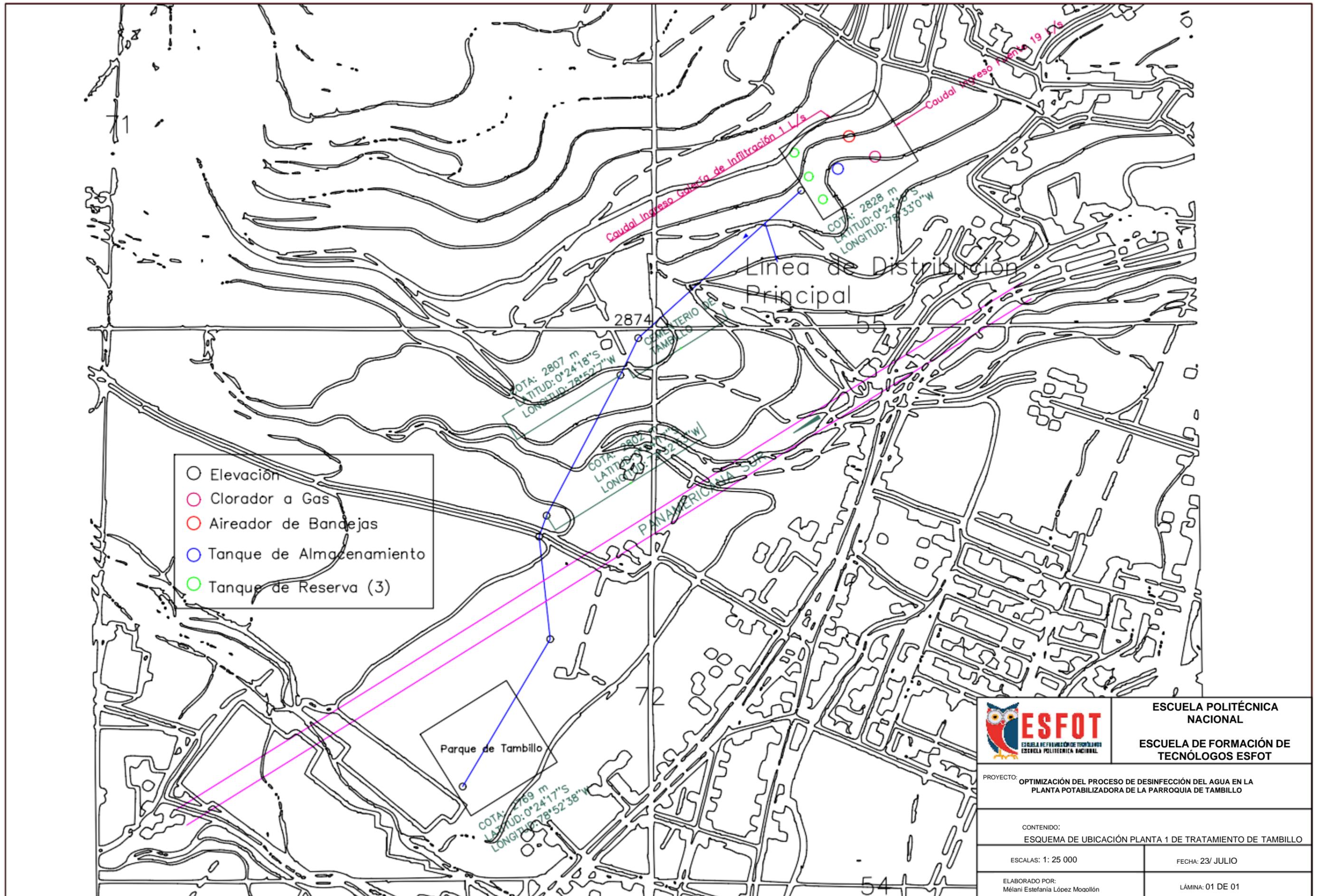
<1%

8 ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1%

ANEXO II
ESQUEMA DE UBICACIÓN PLANTA 1 DE TRATAMIENTO DE TAMBILLO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS ESFOT

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA PARROQUIA DE TAMBILLO

CONTENIDO: ESQUEMA DE UBICACIÓN PLANTA 1 DE TRATAMIENTO DE TAMBILLO

ESCALAS: 1: 25 000	FECHA: 23/ JULIO
ELABORADO POR: Mélani Estefanía López Moqollón	LÁMINA: 01 DE 01



Figura 7: Resultado obtenido por Espectrofotometría de color real.



Figura 8: Crisoles Identificados para la determinación de sólidos totales, suspendidos y disueltos.



Figura 9: Resultado Obtenido por Espectrofotometría de DQO.



Figura 10: Resultado obtenido por Espectrofotometría de fosfatos.



Figura 11: Resultado Obtenido por Espectrofotometría de NitrógenoAmoniaca.



Figura 12: Resultado obtenido por Espectrofotometría de Nitritos.



Figura 13: Resultado obtenido por Espectrofotometría de Manganeso.

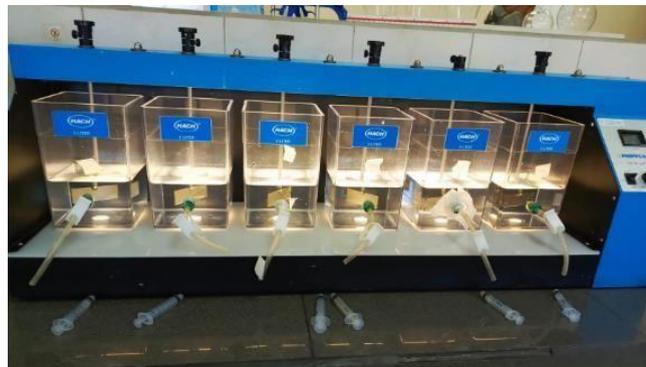


Figura 14: Primer set de Jarras para el análisis.



Figura 15: Segundo set de Jarras para el análisis.



Figura 16: Resultado Positivo Coliformes Totales

INFORME DE ENSAYO NR. 309587

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE					
Cliente:	MELANI ESTEFANIA LOPEZ MOGOLLON				
Dirección:	Tambillo, Panamericana Sur, Av. García Moreno				
Nombre Producto:	AGUA CRUDA VERTIENTE				
Fecha de Elaboración:	2024-06-23	Fecha de Caducidad:	2024-07-05		
Lote:	1	Contenido Declarado:	ND		
Material Envase:	FRASCO ESTERIL	Forma de conservación:	Refrigeración		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Código Laboratorio:	309587-1	Contenido Encontrado:	25.0 Mililitros		
Fecha Recepción:	24/06/28	Fecha Inicio Ensayo:	24/06/28		
Condiciones Ambientales de llegada de la muestra:	5.0 °C	Muestreo:	Es responsabilidad del cliente y, los resultados aplican a la muestra entregada por el cliente tal como se recibió		
ENSAYOS MICROB	MÉTODO	ACREDITACIONES AFLA SAE		UNIDAD	RESULTADO
CRYPTOSPORIDIUM	SE.MI	*	*	N/A	Ausencia

Figura 17: Resultados de laboratorio de Cryptosporidium

ANEXO IV
CALCULOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS

Calculo caudal de ingreso a la Planta 1 con la Ecuación 1

$$Q = \frac{18,5 L}{1 s} = 18,5 L/s$$

$$Q = \frac{20 L}{1 s} = 20 L/s$$

$$Q = \frac{19 L}{1 s} = 19 L/s$$

$$\text{Caudal Promedio} = \frac{(18,5+20+19)L/s}{3} = 19,16 L/s \sim 19 L/s$$

Calculo Alcalinidad Total con la Ecuación 2

$$\text{Alcalinidad Total Muestra de la Vertiente} = \frac{4,6 \cdot 0,02 \cdot 50000}{50} = 92 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

$$\text{Alcalinidad Total Muestra Galería de Filtración} = \frac{4,0 \cdot 0,02 \cdot 50000}{50} = 80 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

$$\text{Alcalinidad Total Muestra Compuesta} = \frac{4,5 \cdot 0,02 \cdot 50000}{50} = 90 \frac{mg}{L} CaCO_3$$

Calculo Acidez con la Ecuación 3

$$\text{Acidez Muestra de la Vertiente} = \frac{3,9 \cdot 0,02 \cdot 50000}{92} = 42,39 CaCO_3$$

$$\text{Acidez Muestra Galería de Filtración} = \frac{2,3 \cdot 0,02 \cdot 50000}{80} = 28,75 CaCO_3$$

$$\text{Acidez Muestra Compuesta} = \frac{2,3 \cdot 0,02 \cdot 50000}{80} = 33,37 CaCO_3$$

Calculo Cloruros con la Ecuación 4

$$Cl = \frac{((1,0-0,4) \times 0,014 \times 35,450)}{50} = 0,0059 \text{ mL de muestra}$$

Calculo Dureza Total con la Ecuación 5

$$\text{Dureza Total} = \frac{4,0 + 0,01 + 100091}{50} = 80 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Calculo Dureza Cálcica con la Ecuación 6

$$\text{Dureza Cálcica} = \frac{2,5 + 0,01 + 100091}{50} = 50 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Calculo Sólidos Suspendidos con la Ecuación 7

$$\text{SST} = \frac{47,57 - 47,58}{50} = 0,0002 \text{ mg/L}$$

Calculo Sólidos Disueltos con la Ecuación 8

$$\text{SSD} = \frac{47,54 - 47,53}{50} = 0,00016 \text{ mg/L} \sim 0,0002 \text{ mg/L}$$

Calculo Sólidos Totales con la Ecuación 9

$$ST = 0,002 + 0,00016 = 0,00036 \text{ mg/L} \sim 0,0004 \text{ mg/L}$$

Calculo Prueba de Jarras para Demanda de Cloro con la Ecuación 10

$$[10,9\%] \times 10000 = 109000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{NaClO} \times \frac{35,45 \text{ g de Cl}}{74,44 \text{ g de NaClO}} = 51908,24 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{Cl}$$

Dos Diluciones de 1/250 11

$$\frac{51908,24}{250} = \frac{207,63}{250} = 0,83 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{Cl}$$

Volumen necesario con la Ecuación 12

$$51908,24 \times V1 = 207,63 \times 250$$

$$V1 = 0,99 \text{ mL} \sim 1 \text{ mL}$$

Resultado de la Curva de Demanda de Cloro 1,42 mg/L

Estequiometría para NaClO con la ecuación 13

$$\frac{1,42 \text{ mg/Cl}}{\text{L Agua}} = \frac{74,44 \text{ g NaClO}}{35,45 \text{ g Cl}} = \frac{2,98 \text{ mg NaClO}}{\text{L Agua}} = \frac{1 \text{ L Clorox}}{109000 \text{ mg NaClO}} = \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \frac{0,027 \text{ mL (10,9\%)Cl}}{1 \text{ L Agua}} = \frac{27 \text{ mL Cl 10,9\%}}{1000 \text{ L Agua}}$$

Dosificación Requerida

Cambio Unidades del Caudal de Ingreso a la Planta 1

$$20 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} = 0,02 m^3/s$$

$$0,02 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h} = 72 m^3/h$$

Para el caudal de ingreso de 20L/s

$$\frac{27 mg \text{ Clorox}}{1 m^3} = \frac{72 m^3}{1h} = \frac{1944 ml}{h} \sim \frac{1,94 L}{h}$$

Calculo Dosificaciones a Utilizar

$$\frac{1,94 L}{h} \times \frac{1 h}{60 min} \times \frac{1000 ml}{1L} = 32,36 mL/min$$

Mililitro por Segundo

$$\frac{1,94 L}{h} \times \frac{1 h}{60 min} \times \frac{1000 min}{60 s} \times \frac{1000 ml}{1L} = 0,53 mL/s$$

Índice de Calidad del Agua con la ecuación 14.

Parámetros por Importancia=

- Alcalinidad de la Vertiente= $105(92)^{-0,186} = 45,28 \times 1 = 45,28$
- Alcalinidad de la Galería de Infiltración= $105(80)^{-0,186} = 46,47 \times 1 = 46,47$
- Alcalinidad Muestra Compuesta= $105(90)^{-0,186} = 45,46 \times 1 = 45,46$
- Cloruros= 0,0059 (como el valor es menor a 2,31 se considera un valor de 100)
 $100 \times 0,5 = 50$
- Color real= $123(10)^{-0,295} = 62,36 \times 1 = 62,36$
- Dureza Total= $10^{1,974-0,00174(80)} = 68,36 \times 1 = 68,36$
- Nitrógeno Amoniacal= 0,00 (como el valor es menor a 0,11 mg/L se considera un valor de 100) = $45,8 (100)^{-0,343} = 9,43 \times 2 = 18,87$

- Nitrato= 1,3 (como el valor es menor a 4,097 mg/L se considera un valor de 100)
= $100 \times 2 = 200$
- Sólidos Suspendidos= 0,002 (como su concentración es menor a 14,144 mg/L se considera un valor de 100) = $100 \times 1 = 100$
- Sólidos Disueltos= 0,002 (como su concentración es menor a 520 mg/L se considera un valor de 100) = $100 \times 1 = 100 \times 0,5 = 50$
- Coliformes Totales= $97,5 (1,1)^{-0,27} = 95 \times 3 = 285$
- Coliformes Fecales= (como se tiene un valor de 0 NMP/100 ml se considera un valor de 100) $100 \times 4 = 400$

ICA total con la ecuación 14

$$= \frac{45,28 + 46,47 + 45,46 + 50 + 62,36 + 68,36 + 18,87 + 200 + 100 + 50 + 285 + 400}{18}$$

$ICA = 76,21 \sim 76\%$

ANEXO V

MANUAL PARA LA DESINFECCIÓN Y CLORACIÓN DEL AGUA EN LA PARROQUIA DE TAMBILLO

MANUAL PARA LA DESINFECCIÓN Y CLORACIÓN DEL AGUA EN LA PARROQUÍA DE TAMBILLO



Este manual está establecido como parte del respectivo Trabajo de Integración Curricular y tiene como finalidad una guía para los operadores y miembros de la Junta de Agua Potable de Tambillo. El cual será una herramienta de consultoría para procesos como la desinfección y cloración del agua, promoviendo la sostenibilidad del recurso hídrico en la Planta 1. La cloración en el agua es fundamental para garantizar una efectiva desinfección y proteger la salud de la comunidad.

Su objetivo es asegurar la calidad de agua que se distribuye a la población de Tambillo, con criterios de monitoreo y el control de las dosificaciones de cloro, promoviendo niveles adecuados para la desinfección sin que sea perjudicial para la salud.

El agua es un elemento vital que permite un buen desarrollo sostenible; de igual forma, tiene un valor fundamental en el equilibrio ecológico, además, este recurso es el más abundante del planeta Tierra; se lo puede encontrar en estados como líquido y gaseoso, también es considerado como disolvente universal.



ÍNDICE GENERAL

<i>Introducción</i>	4
<i>Cloración</i>	5
<i>Características que debe tener un Desinfectante</i>	5
<i>Métodos y Equipos para la Desinfección en Agua</i>	6
<i>Hipoclorito de Sodio (NaClO)</i>	8
<i>Ventajas de Utilizar Soluciones de Hipoclorito de Sodio en el Agua</i>	9
<i>Equipos para Cloración Mediante Soluciones de Hipoclorito de Sodio</i>	9
<i>Hipo clorador de Sodio Mediante Bombas Dosificadoras</i>	11
<i>Cloración con Hipoclorito de Sodio de Forma Directa</i>	13
<i>Presentaciones Comerciales del Cloro</i>	14
<i>Mantenimiento para la Cloración</i>	15
<i>Monitoreo para la Cloración</i>	16
<i>Recomendaciones para la Cloración</i>	16
<i>Equipo de Seguridad para la Manipulación de Cloro</i>	17
<i>Referencias</i>	18

Introducción

“El agua que no ha sido hervida o potabilizada es un peligro para la salud y la vida”. Cada día mueren en el mundo 6 mil personas, por el consumo de agua no tratada o contaminada, según estadísticas del Centro de Naciones Unidas (ONU), principalmente niños por causa de enfermedades de origen hídrico, por ello la OMS que es la Organización Mundial de la Salud ayuda con la implementación de soluciones que son de bajo costo, como lo es la cloración del agua. Con lo que respecta a la calidad que tiene el agua como un valor ecológico esencial en la salud de las personas y así también del crecimiento económico, en la actualidad su tratamiento fisicoquímico se está volviendo cada vez más caro para las empresas de agua potable. (Cid, Cruzat Guillermo, 1952)

El agua es un medio en el que se transmiten varios tipos de microorganismos que son los causantes de enfermedades tales como la amebiasis, cólera, hepatitis, salmonelosis, shigelosis, gastroenteritis viral, entre otras, por lo que pueden llegar a causar síntomas como calambres abdominales, fiebre, vómito, diarrea, fatiga y pérdida de peso. Los organismos causantes de este problema son bacterias, una gama de virus y protozoos; estos también pueden llegar a causar interferencias en la desinfección. Gracias a procesos como la cloración, lo que permite destruir o inactivar a los organismos que producen estas enfermedades, **la desinfección no garantiza una destrucción completa de organismos vivos**, pero se ha podido permitir la protección de la salud pública. (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2006)



Figura 1: Microorganismos presentes en el agua

Fuente: Tigatelu (2016)

La desinfección es un proceso muy importante y obligatorio para el consumo humano, donde se realiza la eliminación de contaminantes presentes en el agua; este proceso se realiza a través de agentes químicos o físicos, los cuales tienen que generar una reacción u efecto residual en el agua potable. Para conocer los límites permisibles existe la normativa INEN 1108, la cual establece una presencia de cloro de mínimo de 0,3 mg/L y máximo de 1,5 mg/L.

Cloración

El cloro, por su capacidad como germicida, permite eliminar microorganismos presentes en el agua; este proceso tiene sus orígenes a finales del siglo XIX, por lo que fue reconocido como un eficiente eliminador de microorganismos. Este proceso fue desarrollado en Gran Bretaña, ayudando a enfermedades como la hepatitis y la tifoidea. (Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, 2006)

Características que debe tener un Desinfectante

- ❖ Debe tener una capacidad para destruir varios tipos de patógenos o microorganismos que existen en el agua en un poco tiempo de contacto, según bibliografías es recomendable utilizar un tiempo de contacto mínimo de 30 min para la desinfección del agua con la cloración, así mismo se debe intentar generar un flujo de mezcla continua y completa la cual debe asegurar el contacto tanto entre el cloro y la cantidad de volumen de agua durante un tiempo de contacto determinado.
- ❖ Sus características no deben cambiar por distintas composiciones del agua a tratar.
- ❖ Debe tener una facilidad de aplicación y dar una seguridad residual frente a contaminantes después de la desinfección o en otras palabras debe tener un efecto residual.
- ❖ No debe ser tóxico ni generar subproductos tóxicos como los siguientes:

Tabla 1: Efectos Perjudiciales del Cloro

Fuente: Adaptado de Nicholas P. Cheremisinoff (2002)

Nivel de Exposición	Efecto Tóxico
0,01 mg/L	A la vida acuática
3,5 mg/L	Detección de olores
Hasta 15 mg/L	Irritaciones en mucosas de ojos y respiratorias
50	Efectos graves en cortos periodos de exposición
1000 mg/L	Efectos Letales

Tabla 2: Valores de Reducción para microorganismos comunes en el agua.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2006)

Tipo de microorganismo	Valores de Concentración por tiempo con el fin de disminuir el 99% de microorganismos en el agua.
Bacteria	CT99: 0.08mg.min/L a 1-2°C y pH 7 CT99: 3.30mg.min/L a 1-2°C y pH 8.5
Virus	CT99: 12.00mg.min/L a 0-5°C y pH 7-7.5 CT99: 8.00mg.min/L a 10°C y pH 7-7.5
Protozoos- Giardia (No puede eliminar Cryptosporidium)	CT99: 230.00mg.min/L a 0-5°C y pH 7-7.5 CT99: 100.00mg.min/L a 10°C y pH 7-7.5 CT99: 41.00mg.min/L a 25°C y pH 7-7.5

Tabla 3: Subproductos Trihalometanos del proceso de cloración.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (2006)

Trihalometanos	Valores de Concentración por tiempo para disminuir el 99% de microorganismos en el agua.
Cloroformo	0,3 mg/L
Bromoformo	0,1 mg/L
Dibromoclorometano (DBCM)	0,1 mg/L
Bromodiclorometano (BDCM)	0,06 mg/L

Métodos y Equipos para la Desinfección en Agua

En la actualidad existen varios equipos y métodos para el procedimiento para desinfectar el agua para consumo humano. Entre los métodos utilizados actualmente se tiene la cloración, ozono y radiación ultravioleta (UV) entre los más comunes. En caso de los equipos para desinfección del agua están los siguientes: Hipo clorador de sodio y calcio, clorador a gas, ozonizadores y esterilizadores. (Bordones,2022)

A continuación, se detallan distintas características de los métodos de desinfección en agua:

Tabla 4: Características de los métodos para desinfección del agua.

Fuente: De Protección Sanitaria del Gobierno de la Ciudad de México (s.f.)

Características	Cloro	Hipoclorito de Sodio	Hipoclorito de calcio	Ozono	UV
Toxicidad a microorganismos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Ligera	Alta	Alta	Alta	No aplicada
Estabilidad	Estable	Ligeramente estable	Relativamente estable	Inestable	Debe generarse al usarse
Toxicidad a formas de vida superiores	Alta	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Interacción con materia extraña	Oxida materia orgánica	Oxidante Activo	Oxidante Activo	Oxida materia orgánica	Moderada
Toxicidad de temperatura ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Penetración	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada
Corrosión	Altamente corrosivo	corrosivo	corrosivo	Altamente corrosivo	No aplica
Capacidad desodorizante					
Disponibilidad	Bajo costo	Bajo costo	Bajo costo	Costo de moderado a alto	Costo de moderado a alto

Tabla 5: Características de equipos para desinfección del agua.

Fuente: De Protección Sanitaria del Gobierno de la Ciudad de México (s.f.)

Hipo clorador de sodio	Hipo clorador de calcio	Clorador a Gas	Ozonizadores	Esterilizadores (UV)
Utiliza soluciones al 12% de cloro activo.	Utiliza soluciones al 65-70% de cloro activo.	Utiliza soluciones al 100% de cloro activo.	Es variable dependiendo de la producción del generador	No se aplica la concentración de desinfectante ya que se basa en la dosis de radiación UV.
Contiene equipos como bombas dosificadoras, tanques de almacenamiento y sistemas tanto de control y monitoreo.	Contiene equipos como sistemas de disoluciones, bombas dosificadoras y tanques de almacenamiento.	Contiene equipos como inyectores y sistemas de dosificación, reguladores de presión y cilindros de cloro.	Contiene equipos como sistemas de mezcla y de inyección, bomba de aire, generadores de ozono y oxígeno, sistema de enfriamiento del aire y sistema de filtración de aire y agua.	Contiene equipos como reactores y lámparas UV y sistemas de monitoreo de intensidad UV.
Es fácil de manejar y dosificar.	Tiene un fácil transportamiento,	Es eficaz contra la eliminación de varios	No deja subproductos residuales como los de	No deja subproductos residuales como los de

	estabilidad en su almacenamiento y concentraciones altas de cloro activo.	patógenos y proporciona un tipo de desinfección residual y duradera.	la tabla 2, eficaz contra la eliminación de bacterias, virus y protozoos.	la tabla 2, eficaz contra la eliminación de bacterias, virus y protozoos.
Tiene limitaciones como la degradación del producto con el tiempo y puede formar subproductos como se puede ver en la tabla 2.	Tiene limitaciones como la corrosión e incrustaciones de calcio en tuberías del sistema.	Es necesario la implementación de sistemas de seguridad avanzados y un manejo cuidadoso debido a la toxicidad y por la corrosión del gas.	No proporciona una desinfección residual sus costos de energía y mantenimiento son altos.	La eficacia puede ser llegar a reducirse en presencia de agua turbia y no proporciona una desinfección residual.

Hipoclorito de Sodio (NaClO)

Se utiliza el hipoclorito de sodio disuelto en agua para obtener diferentes concentraciones. Esta solución suele ser transparente y tiene coloraciones amarillo-verdosas; así mismo, este compuesto no es capaz de ocurrir de forma natural. Es usado como blanqueador y desinfectante para uso de agua potable, para soluciones de limpieza, sistemas de purificación de aguas residuales y piscinas. (ToxFAOsTM, 2024)



Figura 2: Hipoclorito de Sodio Comercial.

Fuente: Julieta (2024)

Ventajas de Utilizar Soluciones de Hipoclorito de Sodio en el Agua

- ❖ Eficacia contra microorganismos patógenos que pueden casuar enfermedades transmitidas por el agua. También ayuda a eliminar materia orgánica, hierro, manganeso y compuestos que pueden generar olor y color en el agua.
- ❖ Tiene una gran disponibilidad en la dosificación y manejo de equipos. Suele ser simple y económico.
- ❖ Tiene seguridad en el manejo y almacenamiento, a diferencia del cloro gaseoso. También tiene un menor riesgo de fugas, por lo que disminuye el riesgo de exposición para los operadores.
- ❖ Si su almacenamiento es adecuado, puede tener una larga vida útil, es más estable y menos volátil que el cloro gaseoso.
- ❖ Se puede adaptar a sistemas de tratamiento de aguas existentes como es el caso de la Planta 1 de Tambillo y su dosificación tiene un control preciso en caso de equipos automatizados.
- ❖ Proporciona un efecto residual a lo largo del sistema de distribución del agua, lo que ayuda a mantener la calidad desde el punto de tratamiento hasta el punto de consumo.

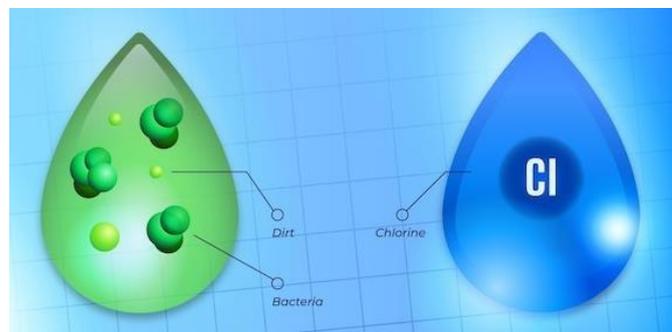


Figura 3: Actuación del cloro en el agua.

Fuente: Vector (2020)

Equipos para Cloración Mediante Soluciones de Hipoclorito de Sodio.

En este caso se tomará en cuenta solo el método de desinfección de hipoclorito de sodio, ya que tiene un menor costo comercial, accesibilidad y mayor facilidad de operación.

Figura 4: Ejemplo De Un Esquema De Hipo Clorador de sodio

Fuente: Tecnologías de Tratamiento de Agua (2018)

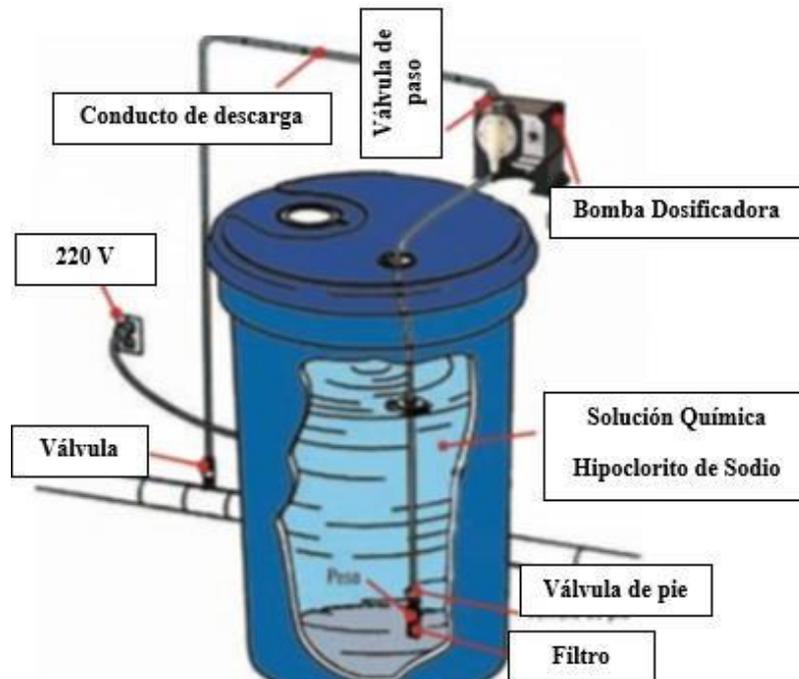


Figura 5: Esquema Funcionamiento de un Hipo clorador mediante una bomba dosificadora.

Fuente: acquabio (2020)

Con los resultados obtenidos del análisis de demanda de cloro para el caudal de ingreso a la Planta 1, se estableció colocar las siguientes cantidades de hipoclorito de sodio. Con un tiempo de reacción o retención de al menos 30 minutos para que el cloro reaccione eliminando microorganismos presentes, este tiempo lo determinan entidades como la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 6: Especificaciones a tomar para desinfección con NaClO.

Tipos de desinfección	Cantidad	Tiempo de Retención	Tiempo de Almacenamiento (meses)
<p>NaClO (Hipoclorito de Sodio)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1,94 L/h de solución de NaClO al caudal de ingreso a la planta. • 32,36 mL/min de solución de NaClO al caudal de ingreso a la planta. • 0,53 mL/s de solución de NaClO al caudal de ingreso a la planta. 	<p>De 30 a 60 minutos</p>	<p>3-6</p>

Hipo clorador de Sodio Mediante Bombas Dosificadoras

Para utilizar una bomba dosificadora se debe tener en cuenta el caudal que va a estar pasando por el sistema, ya que el caudal de ingreso a la Planta 1 es de aproximadamente 20 L/s y para su dosificación se tiene una concentración de cloro al 10,9, por lo que se tiene un resultado de 1,94 L/h de desinfectante que debe estar pasando al agua cruda. Por lo que se pueden utilizar las siguientes bombas:

Tabla 7: Tipos de Bombas Dosificadoras para soluciones de Cloro.

Tipo de Bomba Dosificadora	Volumen Mínimo que puede Dosificar	Volumen Máximo que puede Dosificar
<p data-bbox="336 315 691 344">BOMBA DE DIAFRAGMA</p>  <p data-bbox="225 797 834 826">Figura 6: Bomba de Diafragma para cloración en agua cruda.</p> <p data-bbox="392 853 667 882">Fuente: Carbotecnia (2024)</p>	<p data-bbox="959 416 1110 448">0,1 mL /min</p>	<p data-bbox="1275 416 1370 448">100 L/h</p>
<p data-bbox="341 927 686 956">BOMBA PERISTÁLTICA</p>  <p data-bbox="193 1335 826 1386">Figura 7: Bomba Peristáltica para dosificación de cloro en agua cruda.</p> <p data-bbox="389 1413 632 1442">Fuente: Fluideco (2019)</p>	<p data-bbox="987 1196 1086 1227">1 mL /h</p>	<p data-bbox="1278 1196 1362 1227">30 L/h</p>
<p data-bbox="373 1494 654 1523">BOMBA DE PISTÓN</p> 	<p data-bbox="983 1599 1091 1630">10 mL/h</p>	<p data-bbox="1275 1599 1370 1630">500 L/h</p>

Figura 8: Bomba dosificadora Pistón para dosificación de cloro en agua cruda.

Fuente: MundoRiego (2024)

Ya que se debe dosificar 1,94 L/h, se puede utilizar la bomba dosificadora peristáltica. Esta genera un movimiento peristáltico creando vacío que succiona el fluido, que en este caso es el hipoclorito de sodio, hacia un tubo flexible. Tiene un máximo de dosificación de 30 L/h. Su funcionamiento y operación es la siguiente:

- ❖ Este tipo de bomba tiene un tubo flexible de material de silicona o goma por el cual pasa el hipoclorito de sodio y zapatas que están montadas en un rotor que gira, lo que permite que las zapatas compriman el tubo flexible empujando el fluido hacia adelante. Esta bomba permite tener un control de flujo ajustando la velocidad de rotación del rotor, tiene un controlador de velocidad que también regula la cantidad de hipoclorito de sodio a dosificar.
- ❖ Se prepara o adquiere la solución de NaClO (hipoclorito de sodio) al 10,9% y se coloca en un tanque conectado a la bomba peristáltica, así mismo el tubo flexible estará conectado tanto al punto de inyección como en la línea de agua.
- ❖ En el caso del controlador de la bomba, se configura con los parámetros de dosificación con la demanda de cloro de 1,94 L/h de NaClO y el caudal de ingreso de 20 L/s. El rotor se ajusta para asegurar la cantidad requerida de hipoclorito de sodio.
- ❖ Para comenzar con la desinfección se enciende la bomba y la solución es inyectada de manera continua y precisa en el flujo del agua. El hipoclorito de sodio se mezcla con el agua, lo que permite la desinfección y eliminación de microorganismos presentes.

Cloración con Hipoclorito de Sodio de Forma Directa

Para poder realizar este tipo de cloración se deben considerar los datos obtenidos como la dosificación de hipoclorito de sodio de 1,94 L/h, la concentración de cloro comercial de 10,9 %, y el volumen de los tanques de almacenamiento 2 de 100 m³ y 1 de 200 m³. Los siguientes datos son obtenidos de la estequiometría realizada en el laboratorio con un resultado de 27 ml de Clorox por cada m³.

Tabla 8: Cálculos para cloro y volumen necesario de cloro.

Tanques de Almacenamiento	Volumen Necesario de NaClO en L	Tiempo de Retención
Tanques de 100 m ³	2,7 L	30 a 60 minutos
Tanque de 200 m ³	5,4 L	30 a 60 minutos

Pasos para la desinfección con hipoclorito de calcio de forma directa:

- ❖ Para colocar el hipoclorito de sodio se miden los volúmenes calculados de la *tabla 8*, para cada uno de los tanques.
- ❖ Se colocan los 2,7 L de hipoclorito de sodio directamente en los 2 tanques con volúmenes de 100 m³ y los 5,4 L en el tanque de 200 m³. Hay que asegurarse de que el hipoclorito de sodio se distribuya uniformemente en todo el tanque.
- ❖ Para la mezcla es recomendable utilizar agitadores para asegurar que hipoclorito de sodio tenga una mejor mezcla con el agua de los tanques. En el tiempo de contacto se debe asegurar que la desinfección sea eficiente, por lo que se utiliza un contacto típico de al menos 30 minutos.

Presentaciones Comerciales del Cloro

Tabla 9: Presentaciones comerciales del Cloro.

Fuente: Desinfección de Aguas. OPS/CEPIS/OMS (s.f.)

Método de Desinfección	Nombre Comercial	Característica Física	Envase usual
Hipoclorito de sodio NaClO	Blanqueador líquido	Solución líquida amarillenta	Diversos tamaños de botellas



Figura 9: Presentación comercial de Hipoclorito de Sodio.

Fuente: Rochem del Ecuador (2024)

Mantenimiento para la Cloración.

- ❖ Debe existir personal encargado para realizar inspecciones constantes en el equipo de cloración, en este caso los operadores de la JAAPT.
- ❖ Se deben realizar inspecciones o revisiones del equipo de cloración cada 3 meses y mantenimiento cada 6 meses.
- ❖ Se debe tener en cuenta que se tiene que realizar una limpieza en general, en caso de que las piezas o elementos del equipo de cloración estén defectuosos, se deberá reponer o reparar. Se debe realizar también limpieza de forma semanal de tanques de almacenamiento y líneas de dosificación para prevenir la acumulación de depósitos o incrustaciones, si ya existen incrustaciones se puede utilizar el producto calcáreo de la figura 10.



Figura 10: Producto calcáreo para retirar calcio de tuberías.

Fuente: Zinner (2023)

- ❖ Inspecciones visuales de los equipos para identificar fugas y aparición de corrosión, en áreas que están expuestas al hipoclorito de sodio, se deben utilizar materiales fuertes frente a la corrosión como PVC o Acero Inoxidable; también se pueden colocar recubrimientos.
- ❖ Verificación de sellos y juntas para evitar fugas; si están desgastados, reemplazarlos; también se debe realizar calibración de las bombas para asegurar su dosificación establecida.

Monitoreo para la Cloración.

- ❖ Como la JAAPT tiene a disposición el equipo de medición de cloro mediante Ortotolidina y las cantidades de cloro residual lo pueden usar para el monitoreo de este parámetro para que se encuentren en el rango deseado según la normativa para consumo humano INEN 1108 para los dos métodos revisados. Esto se debe realizar al menos 3 veces a la semana.
- ❖ Para la dosificación mediante bomba, se debe inspeccionar y cambiar el tubo flexible como los componentes de la bomba de forma regular para asegurar un funcionamiento eficiente. También se realiza limpieza de acumulación de residuos para evitar interferencias en la dosificación.
- ❖ Para el método de cloración directa, si los niveles de cloro residual tienen niveles muy bajos, se debe añadir más hipoclorito de sodio y se mezcla suavemente; así mismo, si hay una alta concentración de cloro, se deja que el cloro se disipe de manera natural o se pueden utilizar agentes reductores como el tiosulfato de sodio.
- ❖ Debe existir un registro para la cantidad de hipoclorito de sodio utilizado y para los niveles de cloro residual medidos y el tiempo de reacción.

Recomendaciones para la Cloración

- ❖ El almacenamiento de soluciones de cloro debe ser en un lugar oscuro, fresco y con ventilación para evitar su degradación por luz y calor; además, el tanque en el que debe estar debe ser reforzado y de material de plástico.
- ❖ En el caso de la cloración directa para tener una mejor mezcla de la solución de cloro con el agua cruda se podría optar por agitadores como el de la *figura 11*.



Figura 11: Agitador Vertical para una mejor mezcla de la solución de cloro con el agua.

Fuente: Cramix S.A. (2024)

Equipo de Seguridad para la Manipulación de Cloro

Protección Ocular y Facial

- ❖ Protector de ojos y pantalla facial por salpicaduras de soluciones de cloro.

Protección Respiratoria

- ❖ Mascara de gases por inhalaciones de vapores de cloro.

Protección de manos

- ❖ Guantes de neopreno si existe un contacto directo con hipoclorito de sodio. Ya que son resistentes a la Protección del cuerpo.
- ❖ Ropa de manga larga que cubra todo el cuerpo para evitar una exposición mínima a la piel.

Protección Auditiva

- ❖ Tapones para oídos por si se trabaja en un ambiente ruidoso.

Consideraciones Adicionales

- ❖ Debe existir ducha de emergencia y estación de lavado de ojos, ventilación adecuada, extintores de incendio en áreas de almacenamiento y sistemas para contener y controlar posibles derrames.
- ❖ Se debe establecer un plan de emergencia para evitar daños mayores en los equipos y una respuesta rápida en caso de derrames o accidentes.

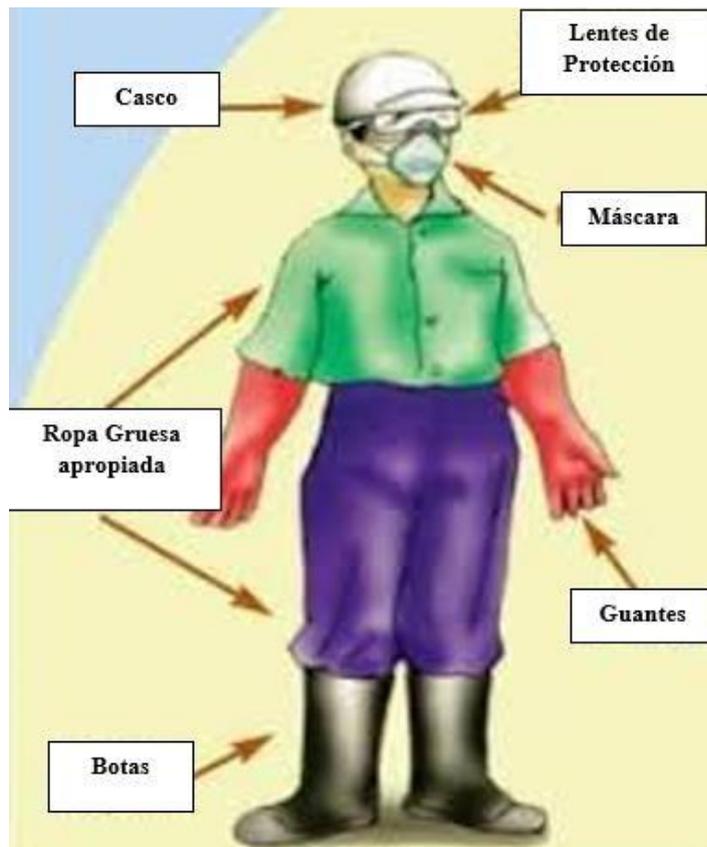


Figura 12: Equipo de Protección para Hipoclorito de Sodio.

Fuente: Ministerio de Salud del Perú (s.f.)

Referencias

- ❖ Chávez, J. A. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública/Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304, de <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- ❖ De Salud, S. (s. f.). Las enfermedades transmitidas por agua si pueden prevenirse. [www.gob.mx](https://www.gob.mx/salud/articulos/las-enfermedades-transmitidas-por-agua-si-pueden-prevenirse#:~:text=Las%20enfermedades%20m%C3%A1s%20comunes%20que,p%C3%A9rdida%20de%20peso%20y%20fatiga), de <https://www.gob.mx/salud/articulos/las-enfermedades-transmitidas-por-agua-si-pueden-prevenirse#:~:text=Las%20enfermedades%20m%C3%A1s%20comunes%20que,p%C3%A9rdida%20de%20peso%20y%20fatiga>.
- ❖ Limón, R., Limón, R., & Limón, R. (2022, 25 enero). La sofisticada arma de las bacterias para figurar entre los seres vivos más rápidos del mundo, de <https://elpais.com/ciencia/2022-01-25/la-sofisticada-arma-de-las-bacterias-para-figurar-entre-los-seres-vivos-mas-rapidos-del-mundo.html>

- ❖ El papel del agua para consumo humano en los brotes de diarrea reportados en el período 1999 - 2001 en Costa Rica. (2002, julio). Revista Costarricense de Salud Pública. Recuperado 16 de julio de 2024, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_serial&pid=1409-1429&lng=en&nrm=iso
- ❖ Julieta. (2024, 23 mayo). Hipoclorito de sodio como agente desinfectante. Bioseguridad y Biocustodia, de <https://seguridadbiologica.blogspot.com/2016/07/hipoclorito-de-sodio-como-agente.html>
- ❖ Tecnologías de tratamiento de agua. (2018, 20 mayo). Grupo A1, de <https://aguayalimentos.wordpress.com/pregunta-2/>
- ❖ Desinfección del agua por medio del cloro. (1952). Universidad de Chile, de https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?vid=56UDC_INST:56UDC_INST&tab=Everything&docid=alma991003232609703936&lang=es&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=sub,exact,Acarreo%20minero,AND&mode=advanced
- ❖ Alta Concentración de Agua | Equipos industriales de Ozono. (2021, 31 marzo). Cosemar Ozono, de <https://www.cosemarozono.com/equipos/generadores-ozono-industriales/alta-concentracion-de-agua/>
- ❖ Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Ambiental - META 35. (s. f.). Plataforma del Estado Peruano. Recuperado 16 de julio de 2024, de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/migl/metastaller_PI_meta35_2.pdf
- ❖ Monitoreo de cloro residual libre agua de uso y consumo humano en unidades habitacionales. (s. f.). Agencia de Protección Sanitaria del Gobierno de la Ciudad de México, de <https://agepsa.cdmx.gob.mx>
- ❖ De Protección Sanitaria del Gobierno de la Ciudad de México, A. (s. f.). Agencia de Protección Sanitaria del Gobierno de la Ciudad de México, de <https://agepsa.cdmx.gob.mx/>
- ❖ Desinfección de agua potable en situaciones de emergencia | US EPA. (2024, 16 mayo). US EPA, de <https://espanol.epa.gov/espanol/desinfeccion-de-agua-potable-en-situaciones-de-emergencia>
- ❖ LEWA GmbH. (s. f.). Bombas Dosificación | LEWA, de https://www.lewa.com/es-US/bombas/bombasdosificadoras?pk_campaign=LEWA_INC_N_America_ES_ECU_Dosierpumpe&pk_keyword=bombas%20dosificadoras&pk_medium=cpc&pk_source=google&gad_sourc

e=1&gclid=CjwKCAjw4_K0BhBsEiwAfVVZ_5sLra145GhXxhjNBueX33IgiHNXAKvm5Sj418V3GwJzl_gK4aVuAxC57UQAvD_BwE

- ❖ Bomba dosificadora pistón PS1 220l/h trifásica - Mundoriego. (2024, 21 julio). Mundoriego, de <https://mundoriego.es/producto/bomba-dosificadora-piston-trifasica-220l-h/>
- ❖ ¿Qué es una bomba peristáltica? - Fluideco. (s. f.). Fluideco, de <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-peristaltica/>
- ❖ ToxFAQs™: Hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio (Calcium Hypochlorite/Sodium Hypochlorite) | ToxFAQ | ATSDR. (s. f.) de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.html#:~:text=El%20hipoclorito%20de%20sodio%20y%20de%20calcio%20se%20usan%20principalmente,de%20aguas%20residuales%20y%20piscinas.
- ❖ Rochem del Ecuador. (2024, 5 abril). HIPOCLORITO DE SODIO 10,9% - CLORO INDUSTRIAL - Rochem del Ecuador, de <https://rochem.com.ec/producto/hipoclorito-de-sodio-10-cloro-industrial/>
- ❖ Elimina residuos de cal y jabón con desincrustante ácido Powerfix. (2023, 27 septiembre). Zinner, de <https://www.zinner.com.ec/producto/desincrustante-acido-powerfix-kiehl-zinner/>