



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

Facultad Ingeniería Civil y TICs

Escuela Ingeniería Civil

Grado de Licenciatura

Proyecto Final de

Graduación

EVALUACIÓN Y RECOMENDACIONES DE LAS CONDICIONES ACTUALES,
HIDRÁULICA Y SANITARIA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE ZAGALA
VIEJA, MONTES DE ORO, PUNTARENAS

Autor

Abrahan Rodríguez Espinales

Heredia, mayo 2022

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “**EVALUACION Y RECOMENDACIONES DE LAS CONDICIONES ACTUALES, HIDRAULICA Y SANITARIA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE ZAGALA VIEJA, MONTES DE ORO, PUNTARENAS**”, por el (la) estudiante: Abrahan Josué Rodríguez Espinales, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de **Ingeniería Civil** de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en **Ingeniería Civil**:

Leonardo Moya González

Tutor

Alberto González Solera

Lector

Erick Cruz Padilla

Representante

COMITÉ ASESOR

Ing. Leonardo Moya González

Tutor

Ing. Alberto González Solera

Lector

Ing. Erick Cruz Padilla

Representante

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE
GRADUACIÓN**

Heredia, 7 de mayo de 2022

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, **Evaluación y recomendaciones de las condiciones actuales, hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, Montes de Oro, Puntarenas.**, elaborado por el estudiante: Abrahan Josué Rodríguez Espinales, como requisito para que el (los) citado (s) estudiante (s) puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

**LEONARDO
MOYA
GONZALEZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)
DN: SERIALNUMBER=01-0406-0491, SN=MOYA GONZALEZ, G=LEONARDO, C=CR, O=PERSONA FISICA, OU=CIUDADANO, CN=LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)
Razón: Soy el autor de este documento
Ubicación: la ubicación de su firma aquí
Fecha: 2022.05.09 18:50:13-06'00'
Foxit PDF Reader Versión: 11.2.1

Ing. Leonardo Moya González.
104060491



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 7 de mayo del 2022

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos de Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título EVALUACION Y RECOMENDACIONES DE LAS CONDICIONES ACTUALES, HIDRAULICA Y SANITARIA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE ZAGALA VIEJA, MONTES DE ORO, PUNTARENAS por parte del estudiante: Abrahan Rodríguez Espinales como requisito para el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenidos exigidos por la Universidad, y por lo tanto recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe Cordialmente.

**ALBERTO
GONZALEZ
SOLERA (FIRMA)**

**Esp. Ing. Alberto González Solera
Ingeniero Civil IC-16251**

Firmado digitalmente por ALBERTO
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)
Nombre de reconocimiento (DN):
serialNumber=CPF-01-0919-0803,
sn=GONZALEZ SOLERA,
givenName=ALBERTO, c=CR, o=PERSONA
FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ALBERTO

GONZALEZ SOLERA (FIRMA)
Fecha: 2022.05.07 09:43:15 -0600
Versión de Adobe Acrobat: 2015.007.00000

**Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA Fiscal
de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.**

CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 15 de mayo del 2022

Señores (as)
Escuela Ingeniería Civil Facultad
Ingeniería Civil y TICs
UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

Estimados señores (as)

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad No. 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por título“ **EVALUACIÓN Y RECOMENDACIONES DE LAS CONDICIONES ACTUALES, HIDRÁULICA Y SANITARIA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE ZAGALA VIEJA, MONTES DE ORO, PUNTARENAS** ”, del estudiante **Abraham Josué Rodríguez Espinales**, cédula de identidad No. 504190707, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente

Firmado por EDITH RAISSA PIZARRO ALFARO (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-04-0178-0133. Fecha declarada: 15/05/2022 05:06 PM
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

Lcda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Abrahan Josué Rodríguez Espinales estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

EVALUACION Y RECOMENDACIONES DE LAS CONDICIONES ACTUALES, HIDRAULICA Y SANITARIA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE ZAGALA VIEJA, MONTES DE ORO, PUNTARENAS

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Heredia, 7 de mayo del 2022

Abrahan Rodríguez E.

Abrahan Josué

Rodríguez Espinales

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):

Abraham Rodriguez Espinales

De la Carrera /
Programa:

Ingeniería Civil

Modalidad de
TFG:

Proyecto de Graduación

Titulado:

Evaluación y recomendaciones de las
condiciones actuales, hidráulicas y
sanitarias de la planta potabilizadora
de Zaguala Vieja Montes de Oro, Puntarenas

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "AUTOR"), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "OBRA"). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "UNIVERSIDAD"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD. **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 15 de mayo de 2022 a las 11:00 am

Firma del estudiante(s):

Abraham Rodriguez B.

Resumen

El proyecto consiste en la evaluación de las condiciones actuales, hidráulicas y sanitarias de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, Montes de Oro, Puntarenas, Costa Rica, donde se realizará una breve descripción de las características de la planta, así como del funcionamiento de esta, explicando cada proceso. Se sabe que la potabilización del agua es indispensable para el desarrollo de un asentamiento de personas, ya que, el agua se necesita para el desarrollo de actividades cotidianas, así mismo en este proyecto se puede observar la importancia de la potabilización del agua, ya que, este es un proceso que evita problemas de salud en las poblaciones que consumen el agua y también hace posible que consumir el agua sea agradable, ya que, se deben de cumplir estándares como color, olor, sabor y los proporcionados estándares de las normas nacionales, esto ha sido un reto para la ingeniería civil e ingeniería ambiental las cuales son las principales responsables de la potabilización del agua.

En el capítulo introductorio se menciona la problemática, los objetivos a cumplir y el impacto que tendrá este proyecto en la comunidad de Zagala Vieja y Villa Bruselas, debido a que está presentado problemas debido a que se están negando los permisos de disponibilidad de agua y esto impide el desarrollo de esta zona; con la evaluación se buscará la forma de que pueda producir el caudal requerido para que esta zona pueda seguir desarrollándose, así mismo, garantizar que el agua producida por la planta potabilizadora esté en óptimas condiciones .

En el marco metodológico se habla de los ensayos a realizar para cumplir los objetivos, así como las normas de las cuales se basó este proyecto para la evaluación. Se menciona que los ensayos se realizaran con los equipos del AyA y con la supervisión del ingeniero Leonardo Moya y el personal capacitado de operación que cuentan en los laboratorios de las plantas.

Summary

The project consists of the evaluation of the current hydraulic and sanitary conditions of the water treatment plant of Zagala Vieja, Montes de Oro, Puntarenas, Costa Rica, where a brief description of the characteristics of the plant will be made, as well as its operation, explaining each process. It is known that water purification is essential for the development of a settlement of people, since water is needed for the development of daily activities, also in this project can be seen the importance of water purification, since, This is a process that avoids health problems in the populations that consume the water and also makes it possible for water consumption to be pleasant, since standards such as color, odor, taste and the standards provided by national norms must be met, this has been a challenge for civil engineering and environmental engineering, which are mainly responsible for water purification.

The introductory chapter mentions the problems, the objectives to be met and the impact that this project will have on the community of Zagala Vieja and Villa Bruselas, since it is presenting problems due to the fact that water availability permits are being denied and this prevents the development of this area; the evaluation will seek a way to produce the required flow so that this area can continue to develop, as well as to guarantee that the water produced by the water treatment plant is in optimal conditions.

The methodological framework discusses the tests to be carried out to meet the objectives, as well as the standards on which this project was based for the evaluation. It is mentioned that the tests will be carried out with AyA equipment and with the supervision of the engineer Leonardo Moya and the trained operating personnel in the plant laboratories.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. Antecedentes.....	1
A. Planeamiento del problema de investigación.....	4
A. Hipótesis	5
B. Objetivos	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
C. Justificación.....	7
D. Alcances y limitaciones.....	8
Alcances	8
Limitaciones	8
E. Impacto.....	9
1.1.1. MARCO TEÓRICO	10
Capítulo I	10
1.1.2. Agua	10
1.2. Características físicas del agua	10
1.2.1. Turbiedad.....	10
1.2.2. Color	10
1.2.3. Olor y sabor.....	11
1.2.4. Temperatura.	11
1.2.5. Características químicas del agua	12
1.2.6. pH.....	12
1.2.7. <i>Arsenio y Bario</i>	12
1.2.8. <i>Alcalinidad</i>	13
1.2.9. <i>Aceites y grasas</i>	13
1.2.10. <i>Cobre</i>	13
1.2.11. <i>Cianuro</i>	13
1.2.12. <i>Dureza</i>	13
1.2.13. <i>Hierro</i>	14
1.2.14. <i>Mercurio</i>	14
1.2.15. <i>Aluminio</i>	14
1.2.16. <i>Potabilización</i>	14
1.2.17. <i>Agua potable</i>	15
1.2.18. <i>Fuentes de suministro de agua</i>	15

1.2.22.	Agua tratada	16
1.3.	Planta de tratamiento de agua	16
1.3.5.	Programa de control de calidad del agua (Manual de Operación y Mantenimiento)	18
1.4.	Etapas de proceso de potabilización	21
1.4.1.	Captación	21
1.4.6.	Coagulación.....	23
1.4.7.	Floculación.....	24
1.4.8.	Tipos de floculadores.....	24
1.4.11.	Sedimentación	25
1.4.12.	Filtración	26
1.4.14.	Lavado del filtro	28
1.4.15.	Desinfección	28
1.4.16.	Los métodos de desinfección se explicarán cada uno de ellos	28
1.4.17.	Desinfección por cloración	28
1.5.	Partes de la planta potabilizadora de Zagala Vieja	32
1.5.1.	<i>Tanque de almacenamiento</i>	32
1.5.2.	<i>Floculador ascendente</i>	33
1.5.3.	<i>Tanque de bombeo</i>	33
1.5.4.	<i>Tanque de agua lixiviada</i>	34
1.5.5.	<i>Lechos de secado</i>	34
1.5.6.	<i>Tubería</i>	35
1.5.7.	<i>Transmisor indicador de PH</i>	35
1.5.8.	<i>Bombas</i>	35
1.6.	Inspección inicial	35
1.6.1.	Análisis de información	36
1.6.2.	Evaluación de la producción	36
1.6.3.	Diagnóstico preliminar	36
1.6.4.	Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención.	36
1.6.5.	Modelos de flujo.....	36
1.6.6.	Flujo intermitente	36
1.6.7.	Flujo continuo	37
1.6.8.	Influencia de tiempo de retención	37
1.6.9.	Ensayo con trazadores	38
1.6.10.	Sustancias trazadoras	38
2.1.	Marco Metodológico.....	39
	Capítulo II	40
2.2.1.	Paradigma.....	40

2.3.1. Enfoque metodológico.....	40
2.4.1. Métodos de investigación	40
2.4.2. Categorías de análisis de la investigación	41
2.5.1. Población y muestra.....	42
2.6.1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	42
2.6.2. Evaluación del proceso de coagulación.	43
2.6.3. Manejo y almacenamiento de sustancias químicas	43
2.6.4. Dosificación de sustancias químicas	43
2.6.9. Evaluación de floculadores	43
2.6.10. Unidades de grava	43
2.6.11. Caudal de operación.....	43
2.6.21. Evaluación de filtros	44
2.6.23. Características del proceso de filtración.....	44
2.6.24. Velocidad y caudal de filtración	44
2.6.25. Calidad del filtrado inicial.....	44
2.6.26. Duración de carreras de los filtros.....	44
2.6.27. Características del sistema de lavado.....	44
2.6.28. Expansión del medio filtrante	45
2.6.29. Duración del proceso de lavado	45
2.6.30. Características del medio filtrante	45
2.6.31. Granulometría del medio filtrante	45
2.6.32. Estado del medio filtrante	45
2.6.33. Espesor del medio filtrante.....	46
2.6.34. Evaluación de la desinfección	46
2.6.35. Tiempo real de contacto	46
2.6.36. Dosis óptima de contacto.....	46
2.7.1. Técnicas e instrumentación para el proceso y análisis de los datos	46
3.1 Análisis de resultado	48
3.1.1. Inspección inicial de la planta potabilizadora de Zagala Vieja.....	48
3.1.2. Calidad de la fuente	48
3.2.1. Características de la planta	49
3.2.2. Cámaras de contacto	49
3.2.3. Floculador ascendente.....	49
3.2.4. Tanque pulmón.....	50
3.2.5. Filtros presurizados.....	50
3.2.6 Tanques de distribución.....	50
3.2.7 Tolla de recepción de agua de los tanques presurizados.....	50

3.2.8. Lechos de secado.....	51
3.3.1. Datos recolectados de la planta	51
3.3.2. Caudal de la planta	51
3.3.3. Aluminio antes del lavado	52
3.3.4. Aluminio después de lavado	52
3.3.5. Lectura de manómetro a la salida del filtro.....	53
3.3.6. Lectura de manómetro a la entrada del filtro	54
3.3.7. Cloro residual.....	55
3.4.1. Observaciones	55
3.4.2 Diagnóstico Preliminar	55
3.5.1. Evaluación del proceso de coagulación.....	55
3.5.2. Manejo y almacenamiento de sustancias químicas	56
3.5.3. Dosificación de sustancias químicas	56
3.6.1. Evaluación de mezcladores.....	56
3.7.1. Tiempos de retención teóricos.....	56
3.7.2. Tubería de cámaras de contacto a planta	56
3.7.3. Tiempo de retención teórico del floculador.....	58
3.9.1. Evaluación de floculadores	60
3.9.2. Unidades hidráulicas.....	60
3.9.3. Caudal de operación	60
3.9.7. Unidades de floculación hidráulica	67
3.9.8. Tiempo de formación inicial del flóculo	67
3.9.9. Tamaño del flóculo producido.....	68
3.10.1. Evaluación de sedimentadores	68
3.10.2. Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada.....	68
3.11.1. Evaluación de filtros	69
3.11.2. Estudio de caso.....	69
3.11.3. Características del proceso de filtración.....	69
3.11.6. Velocidad y caudal de filtración	75
3.11.7. Calidad del filtrado inicial.....	76
3.11.8. Duración de carreras de los filtros	78
3.11.9. Características del sistema de lavado.....	78
3.11.10. Expansión del medio filtrante	78
3.11.11. Duración del proceso de lavado	78
3.11.12. Características del medio filtrante	80
3.11.13. Granulometría del medio filtrante.....	81
3.11.14. Estado del medio filtrante	81

3.11.15. Espesor del medio filtrante	81
3.12.1. Evaluación de la desinfección	81
3.12.2. Dosis óptima de cloro.....	81
3.13.1. Evaluación de aluminio en la planta	82
Bibliografía.....	93
Anexos	97
Glosario	123

Índice de figuras

Figura 1: Calidad de agua en las nacientes Cabuyal.....	49
Figura 2 : Tubería de cámara de contacto a planta.....	85
Figura 3 : Gráfico de trazadores.....	97
Figura 4 :Tamaño de flóculos	97
Figura 5 : Filtros presurizados, cuanta con tres unidades y válvulas en la entra así como en la salida	98
Figura 6 :Tanque de Bombeo, con una capacidad de 6000 litros	98
Figura 7 : Lecho de secado, tres unidades de secado de lodos.	99
Figura 8: Tolva de recepción de agua de lavado de los tanques presurizados	99
Figura 9: Caseta de almacenamiento de soda cáustica al 50% y bomba dosificadora.....	100
Figura 10: Tanque floculador ascendente (floculador – sedimentador), de concreto reforzado.....	100
Figura 11: Caseta de almacenamiento de soda caustica al 50%, de concreto reforzado.....	101
Figura 12: Caja de válvulas de control y punto de aplicación de soda cáustica al 50%	101
Figura 13: Lechos de secado, filtros presurizados y tanque de almacenamiento.....	102
Figura 14: Tanque floculador sedimentador ascendente de concreto reforzado con acero estructural.....	102
Figura 15: Tapa de tanque de almacenamiento dañada (despegada en su totalidad).....	103
Figura 16: Estado de Cámaras de contacto 1 y 2	103
Figura 17: Daños en estructura de cámara de contacto 2	104
Figura 18: Clorador Accutab.....	104
Figura 19: Ingreso agua cruda a la cámara de contacto 2.....	105
Figura 20: Toma de muestra de agua cruda, para ser analizada posteriormente	105
Figura 21: Piedra caliza de cámara de contacto 2, primera etapa de tratamiento del agua de las nacientes de cabuyal.	106
Figura 22: Aluminio precipitado en la parte superior del floculador ascendente (floculador – sedimentador)	106
Figura 23: Residuos de lecho filtrante, posterior al lavado de la batería de filtros presurizados	107
Figura 24: Photometer 7500, equipo utilizado para medir aluminio en la planta potabilizadora	107
Figura 25: Turbidímetro, instrumento utilizado para medir turbiedades en el agua	108
Figura 26: Preparación de salmuera, para realizar el ensayo de trazadores.	108
Figura 27: Medición de cloro residual al final del proceso de potabilización	109
Figura 28: Medición de aluminio del agua al final de proceso de la remoción de aluminio.....	109
Figura 29: Medición de conductividad de la prueba de trazadores realiza en la planta potabilizadora ..	110
Figura 30: Fuga 1 de tubería que conduce agua de las cámaras de contacto a la planta potabilizadora ..	110
Figura 31: Fuga 2 de tubería que conduce agua de las cámaras de contacto a la planta potabilizadora ..	111
Figura 32: Planos de la planta potabilizadora	111

Índice de tablas

Tabla 1 Dimensiones del floculador	58
Tabla 3 Tiempos de retención.....	62
Tabla 5 Significados de variables	65
Tabla 6 Tiempos del floculador	66
Tabla 7 Comportamiento hidráulico del floculador ascendente	66
Tabla 8 Comportamiento hidráulico del floculador ascendente	66
Tabla 10 Tiempos de retención en los filtros.....	70
Tabla 12 Significado de variables.....	72
Tabla 13 Tiempos del filtro.....	73
Tabla 14 Características hidráulicas de los filtros.....	73
Tabla 15 Comportamiento hidráulico de los filtros	74
Tabla 21 Cálculo de población.....	83
Tabla 23 Presupuesto de tanque de almacenamiento.....	87
Tabla 24 Presupuesto de reparación de cámaras de contacto	87
Tabla 25 Mantenimiento de estructura de la planta	88
Tabla 22 Caudal en el año 2021.....	112
Tabla 2 Datos prueba de trazadores floculador ascendente	113
Tabla 4 Resultados de ensayo de trazadores del floculador ascendente	114
Tabla 9 Datos prueba de trazadores filtros.....	115
Tabla 11 Resultados del ensayo de trazadores de los filtros presurizados.....	116
Tabla 16 Calidad de filtrado inicial.....	116
Tabla 17 Datos de calidad de filtrado inicial (ensayo 2).....	117
Tabla 18 Tiempo de lavado del filtro 3.....	118
Tabla 19 Datos del tiempo de lavado (filtro 1,2,3)	118
Tabla 20 Datos del ensayo de dosis optima de contacto	119

Revisar la numeración de las tablas

Índice de gráficos

Gráfico 1 Caudal del año 2021	51
Gráfico 2 Aluminio antes del lavado	52
Gráfico 3 Aluminio después de lavado	53
Gráfico 4 Lectura manómetro a salida (antes y después de lavado)	53
Gráfico 5 Lectura a entrada de filtro (antes y después de lavado)	54
Gráfico 6 Cloro residual	55
Gráfico 7 Conductividad del floculador.....	62
Gráfico 8 Características hidráulicas del floculador.....	63
Gráfico 9 Concentración del trazador (Floculador).....	65
Gráfico 10 Índice de Morril floculador ascendente.....	67
Gráfico 11 Turbiedad de sedimentador.....	68
Gráfico 12 Concentración de trazadores filtros	70
Gráfico 13 Características hidráulicas de los filtros.....	70
Gráfico 14 Concentración de trazadores filtros	72
Gráfico 15 Índice de Morril filtros	75
Gráfico 16 Filtrado inicial (filtro3)	77
Gráfico 17 Filtrado inicial (filtro 1,2,3	78
Gráfico 18 Lavado de filtro 3	79
Gráfico 19 Lavado de filtros 1,2,3	80
Gráfico 20 Curva de dosificación optima.....	82
Gráfico 21 Remoción de aluminio por etapa	83

1. Antecedentes

Nacionales

Patty Vanesa Mora Solera. Evaluación preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la planta potabilizadora de Barranca de Puntarenas. Universidad Latina de Costa Rica en el 2019.

Vanesa Mora llevó a cabo la evaluación preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la planta potabilizadora de Barranca de Puntarenas, donde realizando pruebas se pudo determinar que hace falta mantenimiento periódico en las estructuras, también mejorar la distribución del flujo en los floculadores, indicó que la velocidad de filtración no está cumpliendo con lo indicado, recomendó sustituir la materia que se encuentra en el lecho filtrante entre otros. (Mora, 2019).

Julián Servas Galvis. Evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de Rincón de Zaragoza, Palmares. Universidad Latina de Costa Rica en el 2020.

Efectuó la evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de Rincón de Zaragoza, Palmares, por medio de los análisis y estudios realizados pudo conocer el estado actual de la planta y características como el caudal, capacidad, distribución de caudales que reparte, entre otros. Utilizando las normas y reglamentos nacionales, Julián Servas determinó, siguiendo una serie de procesos de sanitización, recomendó que se capacitaran los operarios de la planta potabilizadora, para que pudieran realizar correctamente las operaciones y el respectivo mantenimiento, que se establecieran reporte de inspección del estado de la planta, también indicó que se creara un manual que describiera los procedimientos de desinfección por medio de cloración. (Servas, 2020).

Auris Mata Ureña. Evaluación preliminar hidráulica y operacional de la planta de tratamiento de agua (potabilizadora) de la ciudad de Puntarenas Universidad de Costa Rica 1999.

Realizó un estudio con el propósito de realizar la evaluación preliminar operacional de la planta potabilizadora de la ciudad de Puntarenas, así como también recopiló información para conocer las características de la planta. Luego realizó un diagnóstico del funcionamiento general, diagnosticando cada proceso y así dio recomendaciones donde partió del trabajo que realizó y los resultados que obtuvo de los análisis realizados y encontró algunos defectos en la planta potabilizadora que el proceso de coagulación no se estaba realizando correctamente, ya

que, la dosificación del coagulante no se estaba realizando en el punto exacto de la etapa donde se presentaba el salto hidráulico, esto se realizó con ayuda de la UCC, Auris Mata también mencionó que existían cuatro bombas dosificadoras, las que por falta de mantenimiento, nunca se han puesto en operación, indicó que el agua de consumo humano no estaba en condiciones óptimas debido al coagulante, mencionó que debido a los asentamientos de personas en las orillas del río Barranca y los criaderos de cerdos pueden afectar a la planta en un futuro y aumentar los gastos, ya que, se consumirían más reactivos para retirar los sólidos que se vayan a encontrar en el cauce, determinó que en algunas ocasiones la planta no tiene la capacidad de remover los coliformes fecales y es un peligro para la salud de los consumidores, así mismo indicó que la planta no cuenta con curvas de dosificación que vaya acorde, que debido a la turbiedad que tenga el agua se agregue la dosificación óptima del reactivo, recomendó curvas de dosificación, ser más estrictos con la cloración, realizar un manual de operaciones entre otras. (Mata, 1999).

Internacionales

Juan Gonzalo Quispe Condori. Diseño y análisis de plantas potabilizadoras de agua para consumo humano, en el centro poblado de Balsapata. Universidad Nacional de Altiplano de Perú 2019.

Realizó un diseño de una planta potabilizadora en Perú, a un poblado que consume agua contaminada y las personas están presentando problemas de salud como diarreas y más. Tomó muestras y observaciones del río Balsapata en la época lluviosa y seca esto para obtener parámetros de diseño para la planta, luego analizó qué tipo de planta diseñar, ya que una de mucha tecnología podría aumentar los costos lo cual lo indujo a optar por una tecnología convencional. (Quispe J. G, 2019).

Hernán Alonso Restrepo Osorno. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia 2009.

Hernán realizó una evaluación de los procesos de coagulación y floculación de la planta de agua potable donde analizó cada proceso obteniendo datos que le ayudaron a realizar recomendaciones sobre la planta potabilizadora. (Restrepo, 2009)

Marlene Beatriz Camacho García. Control y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo del cantón Caluma-Provincia de Bolívar de la Universidad Técnica de Ambato. Ecuador 2014.

Marlene Beatriz Camacho realizó una evaluación de la planta potabilizadora de agua que tuvo como propósito examinar los procesos que realizan en dicha planta, con el fin de que pueda mejorar el control de la planta y de esta forma pueda producir agua de mejor calidad, fue una investigación cualitativa y cuantitativa donde Marlene realizó una encuesta y de esta forma saber cuál es la calidad de vida de los habitantes del sector de Caluma Nuevo y de esta forma buscarle solución a las necesidades presentes en dicha planta. Como solución propuso un manual de control y operación para la planta de tratamiento de agua potable de Caluma Nueva, también realizó cálculos y análisis para determinar la dosis exacta de productos químicos, para que cumplan con los estándares requeridos, así mismo ejecutó documentos técnicos y realizó un control diario, este con el fin de obtener más información de la planta potabilizadora (Camacho, 2014).

Marlene realizó el proyecto siguiendo la norma INEN 1108 y el Texto Uniformado de la Legislación Ambiental esto con el fin de que cumpliera con lo normado en Ecuador (Camacho, 2014).

A. Planeamiento del problema de investigación

La provincia de Puntarenas ha crecido mucho con el pasar de los años esto ha causado que se creen nuevos asentamientos de personas a lo largo de la provincia (Inec, 2011).

Lo cual induce a que estos asentamientos creen la necesidad de recursos básicos como agua, electricidad, entre otros, en el caso de este proyecto se realizará una evaluación hidráulica y sanitaria en la planta potabilizadora de Zagala, orientándose en zonas rurales donde se encuentran comunidades como Zagala Vieja y Villa Bruselas las cuales tiene el desarrollo económico de la ganadería, según expresa Alonso V, la población en esta zona ha dejado de crecer, ya que, se está negando la disponibilidad de agua, esto debido a que el caudal producido por la planta potabilizadora es muy bajo, dicha planta está entregando un caudal de 3.6 L/s a un total de 350 servicios (Comunicado personal, 21 de octubre de 2021), por ende es una necesidad evaluar la planta para garantizar el funcionamiento de esta.

Según el encargado del AyA Alonso L, esta comunidad se está abasteciendo con 3.6 L/s a 350 servicios y según criterios del AyA 1 L/s abastece a 70 servicios, en estas comunidades se necesitarían 5.30 L/s lo cual indica que no se está produciendo el caudal de agua necesaria para abastecer a estas comunidades (Comunicación personal, 7 de octubre de 2021). Por ser una planta en una zona rural que abastece una población de aproximadamente 1225 personas, (Inec, 2011), y residir una población tan pequeña, el AyA carece de recursos para sus respectivas evaluaciones periódicas. El fin de esta evaluación es garantizar una producción de agua de buena calidad y a menor costo y así también poder producir el caudal necesario. Esta comunidad cuenta con una planta potabilizadora que produce 3.6 L/s y su función principal es la remoción de aluminio y corrección de pH, según Moya L, a esta planta no se le realiza una evaluación desde su construcción que fue en el año 2017 (Comunicado personal, 21 de octubre de 2021), en el caso de que la planta no esté realizando adecuadamente la remoción de aluminio a futuro causaría graves daños en la salud de los consumidores, el consumo de aluminio en el agua es causante de intoxicaciones (Rev costarr salud pública.2014). Para esto se necesita saber el estado actual de la planta evaluando los procesos como la coagulación,

floculación, filtración, sedimentación y la desinfección.

Así también influirá en una mala inversión de recursos como gastos químicos innecesarios, daños en el equipo, más tiempos de espera en los procesos realizados, incluso en el deterioro de la planta, lo cual en un futuro podría afectar parcialmente o permanentemente a la planta potabilizadora, afectando a la población con el abastecimiento de agua, por ello, es necesario esta evaluación y si es necesario generar una actualización de la planta para que esta pueda funcionar adecuadamente por muchos años más, entregando agua potable y el caudal requerido por la población de Zagala Vieja y Villa Bruselas.

¿Qué problemas está teniendo la planta potabilizadora de Zagala y estos problemas qué efectos están teniendo en la calidad del agua?

¿Cuáles recomendaciones podemos sugerir a la planta potabilizadora de Zagala, Puntarenas, para mejorar la operación hidráulica, así también para que se cumplan los estándares y normativas establecidos que garantizan la calidad del agua potable para los pobladores que consumen el agua de dicha planta?

A. Hipótesis

En este proyecto final de graduación no se realizará hipótesis, ya que, no es una tesis investigativa, por ende, se utilizarán fórmulas ya investigadas y aprobadas, así como normas que se deben de utilizar para realizar la evaluación de la planta potabilizadora, en este proyecto se darán recomendaciones y soluciones si la planta lo necesitara.

B. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar las condiciones actuales, hidráulicas y sanitarias de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, Montes de Oro, Puntarenas.

Objetivos específicos

- Examinar el funcionamiento de cada uno de los procesos de potabilización del agua como la coagulación, floculación, filtración y la desinfección haciendo sus respectivas evaluaciones hidráulicas y sanitarias de la planta potabilizadora, esto se va a realizar con pruebas de campo, ensayos e inspecciones.
- Sugerir aspectos a mejorar en el proceso de purificación del agua en la planta potabilizadora de Zagala, si así lo requiere de acuerdo con las especificaciones, según lo establecido por las normas técnicas y las leyes del país.
- Identificar si los procesos de potabilización se están haciendo adecuadamente, así como los de mantenimiento, verificando que se cumpla el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N 38924s ejecutado en la planta potabilizadora.
- Crear actualizaciones en el diseño de la planta potabilizadora si así lo requiere, para mejorar su funcionamiento y que pueda abastecer a la comunidad de Zagala y Villa Bruselas por muchos años.
- Efectuar una descripción de las características de la planta donde se indique el estado actual de la planta.

C. Justificación

La finalidad de este proyecto es hacer una evaluación de los procesos de la planta potabilizadora, en caso de que tenga un mal desempeño o el mantenimiento no se esté realizando adecuadamente, se harán recomendaciones para mejorar el funcionamiento de la planta, para así mejorar la calidad del agua potable que consumen los habitantes de Zagala Vieja y Villa Bruselas, ya que, este es el objetivo del proyecto, verificar y garantizar que el agua consumida esté en las condiciones óptimas.

Así también es importante porque parte del proyecto es evaluar el estado actual de la planta para así dar recomendaciones de mejoras y esta pueda cumplir su función por muchos años más y el funcionamiento de esta no se vea afectado en un futuro.

Este proyecto es importante porque la única fuente de agua potable que cumple con los estándares requeridos del AyA es la naciente de la cual se abastece la planta potabilizadora de Zagala, ya que, se han perforado pozos y no cumplen con la prueba de cantidad del agua donde se bombea el agua por 72 horas y tiene que mantener un caudal constante. Por ende, se debe potabilizar el agua y remover el aluminio del agua obtenida de la naciente, así como el caudal proporcionado de la planta no está siendo el adecuado y esto está afectando la población, en esta evaluación se realizará una actualización de la planta potabilizadora de Zagala Vieja para que las comunidades como Zagala Vieja y Villa Bruselas puedan obtener el caudal requerido para realizar sus actividades.

Se sabe que cada vez hay menos fuentes de agua potable, debido al cambio climático la deforestación, contaminación que se ha producido en las fuentes de agua, por esto es necesario aprovechar los recursos como lo es el agua (OMS, 2019), ya que, se utiliza diariamente y es indispensable para el desarrollo humano, sin embargo, el agua tiene que estar en un estado sanitario óptimo para que la población no tenga problemas de salud, el agua puede transmitir enfermedades al ser mal tratadas o desinfectadas, también pueden causar intoxicaciones por una mala remoción de materiales como el aluminio (Rev costarr salud pública.2014).

El motivo es garantizar la calidad del agua y que la población de Zagala Vieja y Villa Bruselas se beneficie, así el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de acuerdo con los resultados de las evaluación y recomendaciones se tomen acciones en dicha planta con el fin de que la vida útil de esta se alargue considerablemente.

La importancia de realizar el proyecto es mejorar la calidad de vida de los habitantes de

las comunidades de Zagala Vieja y Villa Bruselas, así como el funcionamiento de la planta sea el adecuado y económico en cada uno de los procesos.

D. Alcances y limitaciones

Alcances

- En el actual proyecto se tiene como finalidad una evaluación hidráulica y sanitaria del funcionamiento de la planta, se analizarán los procesos necesarios de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, se va a utilizar la normativa técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial, reglamento para la presentación de los servicios del AyA
- En las condiciones sanitarias se evaluarán los parámetros como turbiedad del agua, olor, sabor, pH, que el contenido de aluminio no exceda el máximo admisible 0,2 mg/L según el Decreto No 38924-S (2015).
- Se realizará un presupuesto detallado de las mejoras que se sugieran a la planta potabilizadora.
- La evaluación hidráulica se realizará por medio de la prueba de trazadores.
- Se trabajará con datos proporcionados por el personal de la planta potabilizadora.

Limitaciones

- Esta evaluación no incluye la parte estructural de la planta.
- La evaluación hidráulica y sanitaria se realizará dentro de la planta potabilizadora de Zagala y las cámaras de contacto.
- Se trabajará con la información disponible del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, número de servicios, planos de la planta, control de agua potable reciente e información básica el cómo caudal.
- No se realizarán planos de las mejoras a realizar en la planta potabilizadora.
- Poca información acerca de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, ya que, es muy nueva y posee una cualidad poco frecuente en el país de remoción de aluminio.
- El análisis químico para realizar el análisis bacteriológico no se va a realizar debido a que es necesario un laboratorio certificado.

E. Impacto

La potabilización del agua es una necesidad indispensable para los habitantes de una región, por ende, las plantas potabilizadoras cumplen una función muy importante, ya que, cuando una determinada zona tiene una buena fuente de agua y se puede potabilizar, genera desarrollo y crecimiento.

La potabilización del agua requiere tener un buen control en la purificación, ya que, esta tiene cinco procesos y en cada uno de ellos se deben de estar analizando para obtener agua que cumpla con los estándares de salud, ya que, si esta no se purifica bien puede afectar la salud de los habitantes de la región de donde se esté realizando el mal proceso de purificación, de esta forma se garantizará el buen funcionamiento de la planta y con ello la calidad del agua que consumen los habitantes de esta zona.

El proyecto va a tener un impacto en comunidades como Zagala Vieja y Villa Bruselas, ya que, no se está desarrollando debido a que no se están otorgando servicios de disponibilidad de agua, en esta evaluación se buscará la forma de realizar una actualización a la planta para que pueda aumentar el caudal procesado, de esta forma se vuelvan a otorgar los servicios de disponibilidad de agua y esta zona pueda desarrollarse y pueda aumentar la población de este lugar, con ellos garantizar que se va a abastecer con la suficiente agua en épocas lluviosa y seca.

Este proyecto va a tener un gran impacto en la población de Zagala Vieja y Villa Bruselas, ya que, se evaluará la planta potabilizadora de Zagala Vieja, esto ayudará a que la planta pueda tener un mejor funcionamiento y los habitantes que consumen el agua en un mejor estado y el estilo de su vida mejore, solucionando problemas, ya sean, económicos, como disminuir gastos en la planta y sociales con ello se ayudaría a que la planta tenga muchos años más de funcionamiento. Como parte del resultado si se llegara a encontrar deficiencias en el funcionamiento, así como deficiencias en la obra civil como pintura, tratamiento de paredes de concreto entre otros, se darán recomendaciones de los puntos a mejorar, cómo mejorarlos y un presupuesto preliminar de las mejoras.

1.1.1. MARCO TEÓRICO

Capítulo I

En este capítulo se describirán y mencionarán los conceptos necesarios para poder realizar el proyecto y que el lector pueda entender de qué trata o buscar conceptos que no maneje con el fin de facilitar el aprendizaje y comprensión de los lectores.

1.1.2. Agua

El agua es una sustancia que puede estar en estado gaseoso, líquido y sólido, se puede encontrar en cualquier estado, el agua se encuentra compuesta por un átomo de oxígeno (H₂O) y dos átomos de hidrógeno, también se puede definir como un líquido incoloro, transparente e insípido es el fluido que más abunda en el planeta tierra el 97 % del agua pertenece a los océanos y el resto es agua dulce la cual se puede encontrar superficial o subterránea (Vergara, 2014).

1.2. Características físicas del agua

1.2.1. Turbiedad

Es un parámetro físico originado por partículas que se encuentran en suspensión o coloides como arcillas, tierra finamente dividida, limo; entre otros esta propiedad es causada “por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reduce la transparencia del agua en menor o mayor grado” (Vargas, 2004 P9).

Sólidos solubles e insolubles

Son los residuos obtenidos como materia remanente después de evaporar y secar una determinada muestra de agua a una temperatura dada. En el agua las partículas pueden encontrarse suspendidas o disueltas (Vargas, 2004).

1.2.2. Color

El color tiene origen en la descomposición de materia orgánica al caer a los cuerpos de agua y descomponerse desprenden sustancias que generan color al agua, así

como ciertos minerales, también lo puede causar la turbiedad por ende no es posible establecer estructuras químicas responsables, algunas causas de este son (Vargas, 2004):

- La materia orgánica de los suelos
- Compuestos metálicos
- Presencia de materiales como hierro
- Compuestos de origen vegetal (hojas, árboles, ramas, entre otros) (Vargas, 2004)

1.2.3. Olor y sabor

Este parámetro es de gran importancia para la aceptación del agua ya que si tiene olor y un mal sabor se rechazará, el olor puede indicar malos procedimientos de potabilización, contaminantes o algún cuerpo no apto. La presencia de olor a sulfuro de hidrógeno en algunos casos (Vargas, 2004).

Estas propiedades se encuentran relacionadas con unas de las principales características de rechazo de parte de los consumidores, la falta de olor puede ser un indicador indirecto de la falta de contaminantes, algunos de estos pueden ser compuestos fenólicos, así también la aparición de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Así mismo, en algunos casos, para eliminar el olor se adiciona carbón activado o bien se realiza el proceso de aireación (Vargas, 2004).

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que, por razones organolépticos, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable (Vargas, 2004 P9).

1.2.4. Temperatura.

La temperatura es un parámetro de gran importancia, ya que, este se utiliza para los procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, un ejemplo de esto puede ser el grado de saturación de OD, el valor de saturación con carbonato de calcio y la actividad biológica se relaciona con dicha propiedad física, en estudios de nacientes, ríos, pozos, lagos, entre otros; es necesario obtener la temperatura. Para lograr conseguir la temperatura de estos cuerpos de agua se puede utilizar un termómetro de mercurio el cual se debe de introducir en el agua en

movimiento y tomar varias mediciones, este proceso se debe realizar con cuidado debido a que la ruptura del termómetro podría contaminar el agua debido a que el mercurio es altamente tóxico. (Romero, 1997).

1.2.5. Características químicas del agua

El agua es un disolvente por naturaleza, en ella se pueden encontrar diversos elementos de la tabla periódica. Por ende, el cuidado de potabilizarla, ya que estos elementos presentes en el agua podrían llegar a tener efectos adversos en la salud de los consumidores, por ende, es necesario saber que elementos se pueden encontrar, así como sus efectos en la salud, algunos de ellos pueden ser:

1.2.6. *pH*

El pH es una medida que se le aplica al agua para determinar el grado de acidez y la alcalinidad, tiene la concentración de iones de hidrógeno, este valor tiene un gran efecto en el proceso de coagulación, ya que, los valores que se encuentren muy altos o bajos del rango admisible producen malos resultados en dicho proceso. Es importante porque los cambios de este puede que altere la concentración de otras sustancias en el agua como puede ser la disminución del pH puede aumentar la cantidad de mercurio, así como un aumento en el pH causa amonio no tóxico, así como si esta disminuye el agua se hace más ácida y si aumenta, se transforma en base; este se mide de diferentes métodos como (Romero, 1997):

En Costa Rica el control del pH para el agua potable se lleva a cabo en los niveles de control de calidad parámetro de análisis del primer nivel donde indica que el valor alerta es de 6 y el máximo admisible es de 8 no se establece un valor en específico si no solo un rango aceptable (Decreto No 38924-S, 2015).

1.2.7. *Arsenio y Bario*

Elementos como el Arsenio pueden ser cromáticamente tóxicos para las personas, el Bario también posee alta toxicidad, algunos efectos que puede causar en las personas son: trastornos cardiacos, nerviosos y vasculares. La cantidad de Arsénico

permitida es de 0.01mg/l, mientras una cantidad de 0.8 a 0.9 de cloruro de bario puede considerarse muy peligrosa (Romero, 1997).

1.2.8. Alcalinidad

Se puede definir como la capacidad del agua para poder neutralizar ácidos, tener un control de la alcalinidad es de mucha importancia en el control de las plantas potabilizadoras, tiene afectación en un carácter corrosivo y en la aceptación del agua, ya que, afecta el sabor (Mata, 1999).

1.2.9. Aceites y grasas

Los aceites y grasas en parte son responsables del sabor y olor, los cuales deben de controlarse y retirarse del agua para que pueda ser potable, más que todo por un tema de apariencia y confort, no obstante, pueden presentar riesgo para la salud en algunos casos (Mata, 1999).

1.2.10. Cobre

El Cobre es un elemento que puede hallarse en la forma natural del agua, pero muy extraña vez se encuentra una concentración superior a 1 mg/l, la ventaja es que se considera un elemento no dañino para la salud, y tiende a controlar las algas, como desventaja puede causar mal sabor al agua (Romero, 1997).

1.2.11. Cianuro

Este elemento es altamente tóxico no solo para las personas sino también para los animales, no es muy común encontrarlo en el agua en estado natural y un valor máximo admisible de Cianuro es de 0.05 mg/l; es un elemento muy popular para la extracción del oro (Romero, 1997).

1.2.12. Dureza

La dureza es la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de Calcio, se puede encontrar entre los más comunes como el Calcio y Magnesio. Las aguas duras tienen las desventajas que consumen más jabones, también

manchan las tuberías y los artefactos de cocina, las manchas se pueden reflejar en las tuberías también.

Se recomienda un valor máximo admisible de dureza en el agua de 400 mg/l de CaCO₃ (Mata, 1999).

1.2.13. Hierro

Este elemento en el agua no presenta problemas de salud, pero sí sanitarios y de apariencia, ya que, si el contenido de Hierro es muy alto puede manchar la ropa blanca, los utensilios de cocina, manchas en los baños y se puede ver reflejado en el color del agua o como turbiedad, la norma indica que no debe de exceder el valor máximo admisible de 0.3 mg/l de Hierro para aguas que se emplean para el consumo de las personas (Mata, 1999).

1.2.14. Mercurio

Es un elemento muy tóxico y dañino para la salud, no es de fácil aparición en el agua de forma natural, es causante de Parkinson, la norma indica que el mercurio no debe de superar los 0.03 mg/l (Mata, 1999).

1.2.15. Aluminio

Es una característica química de las agua superficiales y subterráneas. La OMS recomienda que el contenido de aluminio en el agua potable no exceda 0.2 mg/l por motivos de salud ya que algunos autores indican que causa Alzheimer, intoxicaciones entre otros, así como aspectos como sabor y visuales. (Rev costarr salud pública.2014).

1.2.16. Potabilización

En un estudio de la calidad del agua a potabilizar se realizan las siguientes pruebas y análisis:

Muestras continuos: la prueba consiste en durante 24 h/d/p una semana aproximadamente se muestrea el agua obtenida de la fuente, lo cual permite definir si es factible o no su uso, así como también indica la modalidad de potabilización: Filtración lenta o rápida. (Turbiedad, color, pH, alcalinidad). Decreto No 38924-S, 2015).

Pruebas de jarras: esta prueba simula a nivel de laboratorio los procesos que se producen en la planta y así obtener los parámetros para el diseño de la planta como qué

tipo de planta y los procesos que requiere tener para la potabilización del agua.

1.2.17. Agua potable

Según el reglamento del agua potable es “el agua tratada que cumple con las disposiciones de valores máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud” (Decreto No 38924-S, 2015, p.4).

1.2.18. Fuentes de suministro de agua

Las fuentes de suministro de agua pueden ser subterráneas (manantiales, nacientes, pozos), superficiales (ríos, lagos canales, mares), de estas fuentes es que se toma el agua para potabilizarla por medio de las plantas potabilizadoras para que esta pueda ser tratada y posteriormente consumida por la población de la zona.

En estas se deben de analizar y realizar pruebas para que pueda ser un suministro para una región, por lo tanto, se deben realizar mediciones o aforos de caudal, así como tener en cuenta la topografía del terreno, ya que, de esta depende cómo se va a hacer llegar el agua a la planta o a los consumidores, ya sea, por bombeo o por gravedad. (Decreto No 38924-S, 2015)

1.2.19. Agua subterránea: las aguas subterráneas son aquellas que se originan por medio de formaciones de una o varias capas subterráneas de rocas o de diversos tipos de estratos geológicos, que tiene una permeabilidad capaz de posibilitar el almacenamiento y que pueda mantener el flujo adecuado sin afectar el manto acuífero, para poder realizar su extracción (Decreto No 38924-S, 2015)

1.2.20. Agua superficial: el agua superficial “se genera a partir de precipitaciones atmosféricas o bien afloramientos de aguas subterráneas como (nacientes) que transcurren en la superficie (ríos, lagos, quebradas)”. (Decreto No 38924-S, 2015, p.4).

1.2.21. El agua y sus impurezas

El agua en la naturaleza parece un simple material, pero es una composición muy compleja químicamente.

1.2.22. Agua tratada

Puede ser de origen superficial o subterráneo y la cual se procedió a cambiar la calidad del agua, por medio de procesos de tratamiento, para las aguas de origen superficial se deben de realizar varios procesos, en algunos casos las de origen subterráneo con solo realizar el proceso de desinfección el agua es apta para el consumo. (Decreto No 38924-S, 2015)

1.2.23. Sistema de agua potable

Se le denomina al conjunto de obras civiles que comprende captación, acueducto potable, planta potabilizadora, red de distribución de agua potable. Este sistema es el encargado de obtener el agua, transportarla a la planta potabilizarla y luego de ser procesada, distribuirla a los habitantes de una zona determinada (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

1.2.24. Sistema por gravedad:

Los sistemas de gravedad son muy utilizados en zonas donde la topografía se presta, son utilizados para transportar agua, ya que, el agua cae por su propio peso y de esta forma se transporta a la toma de agua que se requiere.

1.2.25. Sistema por bombeo:

Son sistemas de accesorios, equipos y tuberías que toman el agua de un río, quebrada, lago, nacimiento o manantial que se encuentre en una elevación menor que a la donde se debe de dirigir el agua y donde por gravedad no se puede transportar, para poder diseñar este sistema se necesita tener cierta información, estudios topográficos, calidad del agua, disponibilidades de energía, condiciones geológicas, entre otros aspectos. (Corcho Romero, F. H., & Duque Serna, J. I. 2005).

Por lo general se transporta a un tanque de almacenamiento donde el caudal medio diario es igual al caudal con el que se diseñó, y por medio del tanque distribuye a los habitantes por gravedad, es importante seleccionar una buena fuente de abastecimiento y que el tamaño de la bomba sea el adecuado. En algunos casos el bombeo se realiza directo a la red de abastecimiento, pero no es recomendable. (Empresas Públicas de Medellín, 2009)

1.3. Planta de tratamiento de agua

Las plantas de tratamiento se definen según el reglamento del agua potable como el “conjunto de estructuras y dispositivos, destinados a dotar el agua de fuente de la calidad necesaria para el consumo humano, es decir potabilizarla a través de diferentes procesos como: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, desinfección” (Decreto No 38924-S, 2015, p.9).

Se pueden encontrar diferentes tipos de plantas potabilizadoras, ya que, se clasifican por la tecnología empleada, así como los procesos que sean requeridos, cómo va a ser utilizada y por qué lo decide el ingeniero responsable del diseño.

Los tipos de plantas potabilizadoras existentes son:

1.3.1. Planta de filtración lenta

La filtración lenta es el sistema más antiguo utilizado, este funciona como la purificación que ocurre en la naturaleza, el agua llovida penetra los estratos de la corteza, el agua se filtra lentamente hasta llegar a los mantos acuíferos también llamados ríos subterráneos. Este sistema tiene la función principal de eliminar la turbiedad del agua, también se utiliza como un sistema de desinfección del agua. Una planta de filtración lenta está basada en un tanque que tiene una capa sobrenadante de agua la cual va a desinfectar, contiene un lecho filtrante de arena. En este proceso de filtración lenta los microorganismos se almacenan en los filtros hasta que se procede a verter en la fuente por la función de retro lavado. (Vargas, 2004).

1.3.2. Planta de filtración rápida

Este sistema de plantas de filtración rápida se llama así debido a los filtros que la forma y estos tienen velocidades muy altas de filtrado, la velocidad de los filtros depende de la calidad del agua y de la suciedad que se encuentre en ellos, por ejemplo, si llevan mucho tiempo sin lavarse estos van a filtrar más lento que recién lavados. (Mora, 2019).

Los tipos de plantas de filtración rápida se escogen de acuerdo con la calidad del agua que se requiera procesar se destacan estos dos tipos:

1.3.3. Planta de filtración rápida completa: este tipo de plantas están integradas por los procesos comunes de una planta como: coagulación, floculación, decantación, filtración, y desinfección. Donde se procede a realizar el proceso de coagulación en dos períodos,

el primero es cuando se agita fuertemente el agua para que de esta forma el coagulante se disperse en toda la masa de agua (mezcla rápida), el segundo periodo es cuando se causa una agitación lenta, esto con el fin de promover una rápida acumulación y aumento del flóculo (periodo de floculación). (Mora, 2019).

1.3.4. Planta de filtración rápida directa: Las plantas de filtración rápida directa integran los procesos de mezcla rápida y filtración, son muy comunes en aguas poco turbias, aguas claras, como de embalses de represas, nacientes entre otros, ya que, la cantidad de suciedad es muy baja. (Mora, 2019).

Las plantas de filtración se clasifican de acuerdo con la tecnología empleada:

- Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS
- Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados
- Sistemas de tecnologías convencional clásica o antigua. (Mora, 2019).
- Sistemas para remoción de contaminantes específicos (aluminio, hierro, manganeso, arsénico, entre otros).

1.3.5. Programa de control de calidad del agua (Manual de Operación y Mantenimiento)

Es un plan elaborado por operadores y personal de la planta potabilizadora donde en un documento se anotan las características de la planta y el procedimiento de cómo realizar una evaluación del sistema de suministro de agua, aquí se debe de incluir análisis del control del agua potable, así como programas de monitoreo de los procesos de potabilización. Aquí también se describe y se indica cómo proceder en determinado caso de una eventualidad en el sistema (Decreto No 38924-S, 2015).

1.3.6. Caudal

Según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados es “la cantidad de agua que circula a través de un medio determinado, medido en volúmenes por cantidad de tiempo conocido” (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

1.3.7. Control de calidad del agua potable

Se conoce como la agrupación de medidas a ejercer y con ellas salvaguardar las fuentes de agua y también el área de drenaje, así como zonas de recarga, por ende,

incluye monitoreos permanentes y también sistemático de usos de suelos (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

1.3.8. Disponibilidad del servicio de agua

Según lo definido en el Reglamento para la Prestación de los Servicios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, “Con este indicador se pretende medir la disponibilidad de servicios de saneamiento que permitan cubrir la demanda del servicio dentro del área de cobertura actual.” (Reglamento para la prestación de los servicios de AyA, 2014)

1.3.9. Periodo de diseño

El periodo de diseño es el tiempo en el cual va a funcionar correctamente, para el cual está diseñado que funcione el proyecto (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.3.10. Población de diseño

La población de diseño se define como la población mínima de diseño a la cual se debe de diseñar, esta se calcula a partir del número de habitaciones y se debe de multiplicar por el factor de hacinamiento, este corresponde al valor obtenido del censo más actualizado de la población (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.3.11. Vida útil

La vida útil es el tiempo que se espera que la estructura funcione y cumpla las funciones para las cuales fue diseñada, este periodo de tiempo debe de ser mayor que el periodo de diseño de este, la vida útil está en dependencia de la calidad de materiales, uso, el mantenimiento que se le realice, calidad de equipos, calidad del agua, diseño óptimo, así como de las condiciones ambientales en las que se encuentre (Calvo, 2019).

1.3.12. Dotación

Las dotaciones según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados es la cantidad de agua por persona, por día. Siendo estas las unidades de la dotación (L/P/D) que se debe de suministrar y la planta debe de ser capaz de otorgar el caudal requerido a la zona determinada, la dotación depende de si son poblaciones urbanas, rurales, costeras o es área metropolitana, ya que, se han hecho estudios para cada zona en específico (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.3.13. Área Urbana

El área urbana se puede definir como un conjunto de áreas las cuales pertenecen a

jurisdicciones municipales las cuales se desarrollan respecto a un centro principal de población, por ello funciona como una sola área, ejemplo de esto puede ser el Área Metropolitana, la cual está conformada por un conjunto de áreas muy pobladas (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.3.14. Área Rural

Son poblaciones o áreas que se encuentran en los alrededores de zonas densamente pobladas, por lo común bastante alejadas y con una cantidad de habitantes muy reducida donde se concentran pequeños grupos de poblaciones (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.3.15. La purificación del agua

La purificación del agua es uno de los problemas de la ingeniería civil e ingeniería ambiental donde deben de buscar soluciones con urgencia siendo eficientes los procesos de purificación. Tienen como objetivo abastecer a la sociedad con agua potable, ya que, se sabe que para que la sociedad y los grupos de asentamientos se puedan desarrollar, se necesita del recurso indispensable del agua, esto para que se puedan realizar labores diarias, como la comida, el aseo y también en el área laboral, como la construcción, agricultura, ganadería y demás.

El agua es un recurso que las ingenierías encargadas de procesarla tienen la responsabilidad de tener el mayor aprovechamiento de este recurso, esto porque en muchos lugares del mundo este recurso es muy limitado y de ello dependen las personas para poder vivir y realizar sus actividades (Romero, 1999).

1.3.16. Tipos de planta de purificación

Los tipos de plantas de purificación están en dependencia de la fuente de donde se adquiera el agua a potabilizar, así como las propiedades físicas como olor, sabor, turbiedad y las propiedades químicas como cadmio, alcalinidad, dureza, hierro, entre otras y de esto depende el tratamiento que se debe de realizar al agua. También se debe de analizar los métodos más eficientes para la potabilización así también se debe de buscar el método más económico.

1.3.17. Consideraciones generales de una planta potabilizadora.

El objetivo de un buen diseño de una planta potabilizadora de agua es basado en

principios de eficiencia y economía donde se buscan los métodos más económicos para realizar el diseño de la planta, el cual debe de cumplir con las especificaciones de procesar el caudal requerido y poder satisfacer a la población que consume el agua potable, por lo general se diseñan plantas que puedan funcionar con un mínimo de personal, esto también influye en los costos de diseños de la planta en el mantenimiento, también se verifica que sea muy poco el que se le deba de realizar, se recomienda tener en cuenta que se deben de considerar los siguientes conceptos para un adecuado diseño:

Se debe de considerar la fuente de abastecimiento del agua para obtener el diseño adecuado y más económico que produzca la calidad del agua de acuerdo con los códigos.

El ingeniero encargado del diseño debe de conocer las normas que rigen para el diseño, así como los parámetros que debe de cumplir.

Si no se tiene la información adecuada de la fuente se procede a realizar un análisis de la fuente.

En las plantas la capacidad nominal debe de ser mayor que la demanda máxima diaria proyectada en el periodo de diseño de esta.

La planta debe de seguir en funcionamiento, aunque algunos de sus elementos se encuentren dañados o en mantenimiento para que no se vea afectada la producción de agua.

La ubicación de la planta potabilizadora tiene que ser de bajo costo del terreno, disponibilidad de energía, ubicación topográficamente aceptable para la fuente y la comunidad, defensa civil y espacio para ampliación de la planta ya sea por actualizaciones que se deben de realizar o por algún proceso adicional que requiera (Romero, 1999).

1.4. Etapas de proceso de potabilización

Son las etapas y los procesos realizados en una planta potabilizadora de filtración rápida para lograr remover todos los sólidos y microorganismos para poder entregar agua potable a las personas.

1.4.1. Captación

Según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados es la infraestructura, equipo, otros elementos que se necesitan para poder recolectar el agua de la fuente de abastecimiento donde se va a obtener el agua, ya sea superficial o subterránea para un sistema de agua potable. (Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial 2017).

1.4.2. Aireación

La aireación en el proceso de potabilización de aguas es el proceso en el cual el agua se pone en contacto con el aire para así cambiar las propiedades del agua y modificar las concentraciones de sustancias volátiles que se encuentren en ella, la función de la aireación es:

- Oxidar hierro y manganeso
- Remueve los compuestos volátiles orgánicos
- Remover los olores y sabores los cuales los pueden producir por sustancias volátiles.
- Transfiere el oxígeno al agua para aumentar el OD
- Reduce la concentración de CO₂ (Romero, 1999).

No todas las plantas necesitan el proceso de aireación, ya que, comúnmente es más utilizada cuando se obtiene el agua de un río, laguna o quebrada debido a que el agua tiene más sustancias químicas y orgánicas que por medio de este proceso son liberadas o cambian su composición, en las aguas recaudadas de nacientes, manantiales o pozos no es tan necesario este proceso, ya que, las aguas de este tipo de fuentes subterráneas son más limpias que las superficiales (Romero, 1999).

1.4.3. Mezcla rápida

Uno de los procesos utilizados en la potabilización es la mezcla rápida, el propósito de esta es dispersar diferentes sustancias, ya sean, gases o químicos. La función de esta es dispersar rápidamente y de manera uniforme el coagulante en todo el flujo de agua, esta mezcla puede ser efectuada por medio de turbulencia que es provocada por medios hidráulicos o bien mecánicos, algunos de estos pueden ser resaltes hidráulicos en canales, vertederos rectangulares, canales Parshall o tanques con equipo de mezcla rápida. (Romero, 1999)

Mezcladores hidráulicos, en estos la ejecución de la mezcla es por medio de la turbulencia que provoca el flujo, en cambio los mezcladores mecánicos inducen la mezcla por medio de mecanismos mecánicos como hélices, turbinas, que son las encargadas ejecutar la mezcla (Romero, 1999).

1.4.4. Mezcladores rápidos mecánicos

Generalmente son más comunes en tanques y equipos, de secciones cuadradas o

circulares, la obtención de estos no es muy difícil, ya que, muchas industrias lo venden y existen de varios tipos axiales y radiales (Romero, 1999).

1.4.5. Mezcladores rápidos hidráulicos

Este tipo de mezcladores se utilizan cuando una fuente tiene energía (diferencias de altura que causa que el agua descienda por gravedad), por lo general se utilizan saltos hidráulicos, canales Parshall, tubos Venturi entre otros esto con el propósito de que generen turbulencia para mezclar el coagulante. Este sistema tiene la gran ventaja de que no necesita equipo mecánico ni tampoco un personal capacitado para el mantenimiento (Romero, 1999).

1.4.6. Coagulación

La coagulación es un proceso que produce una desestabilización de cargas generando un reacomodo de las cargas en las partículas que permite que las partículas puedan unirse y formar los flóculos. Los coagulantes que contienen cargas opuestas las de las partículas que se encuentran en suspensión se procede a agregar agua con el fin de neutralizar las cargas negativas en las partículas disueltas no decantables estas partículas pueden ser sustancias orgánicas, arcillas y partículas de materia vegetal. El mecanismo de la coagulación es un proceso donde se utilizan métodos fisicoquímicos para desestabilizar partículas coloidales para que estas se puedan aglomerar y luego debido a su tamaño y peso puedan ser sedimentadas (MRWA, 2009).

Los coagulantes más usados para el tratamiento de agua son:

- Sulfato de aluminio.
- Sulfato ferroso.
- Sulfato ferroso clorado.
- Sulfato férrico.
- Policloruro de aluminio.
- Polielectrolitos.
- Cloruro férrico
- Soda cáustica al 50 %

Los coagulantes más utilizados son las sales de Hierro y Aluminio; al agregar las sales al fluido provoca que produzcan una serie de reacciones muy complejas, las sales reaccionan con la alcalinidad del agua produciendo hidróxido de hierro o de aluminio los cuales son insolubles y causan la formación de precipitados (MRWA, 2009).

Factores que influyen en la coagulación:

pH: es una de las variables más importante ya que la dosificación del coagulante depende de la alcalinidad del agua.

Sales disueltas: Las sales que contiene el agua alteran el pH, el tiempo de coagulación, la cantidad de coagulante

Temperatura del agua: al alterar la densidad del agua altera los tiempos de sedimentación.

Influencia de dosis de coagulante: La dosificación del coagulante es de gran importancia ya que si se agrega muy poco coagulante no neutraliza las partículas de sólidos. (MRWA, 2009).

1.4.7. Floculación

La floculación es un proceso utilizado en la potabilización del agua, donde se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados (Romero, 1999, P71).

La floculación de la misma manera que la coagulación se ve afectada por fuerzas químicas y físicas, algunas de estas son la carga eléctrica de las partículas, la capa de intercambio, el tamaño, así como la concentración del flóculo, el pH, la concentración de electrolitos, así como la temperatura del agua. El movimiento browniano en las partículas muy pequeñas, es muy lento, indica que el proceso se debe realizar de forma lenta, este proceso requiere mecanismos de transporte que promuevan la colisión de las partículas y así formando la floculación orto cinética. Para este proceso es importante saber el comportamiento del agua por medio de ensayos de jarras o experiencias preliminares en la respectiva planta de tratamiento (Romero, 1999).

El floculador, debe de ser un tanque con las dimensiones correspondientes a la cantidad de caudal que reside, y con un debido sistema que permita que se genere una mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención debido que sea relativamente prolongado, esto para que el proceso sea debidamente realizado y se obtengan los resultados requeridos (Romero, 1999).

1.4.8. Tipos de floculadores

Para la floculación como ya se ha mencionado, requiere de mezcla lenta y puede

realizarse por medios mecánicos donde se utilicen rotores de poleas o bien de manera hidráulica.

1.4.9. Floculadores hidráulicos: los floculadores hidráulicos más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. Este tipo de floculador horizontal se basa en un tanque rectangular de concreto reforzado, que a su vez se encuentra dividido por tabiques, pantallas de concreto o hierro u otro material adecuado, colocados de tal forma que el agua realice un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libre de dichos tabiques a velocidades descendientes, conforme se avanza las distancias entre los tabiques es mayor y esto causa que el agua avance de forma descendente. Los floculadores de flujo vertical son aquellos que el agua fluye de forma contraria al horizontal, estos fluyen hacia abajo y hacia arriba pasando por encima o por debajo de los tabiques, pantallas que dividen el tanque de concreto, de forma general los floculadores hidráulicos si conllevan una velocidad respectiva y una cantidad de tabiques correcta para que tenga las suficientes curvas provee un proceso efectivo. (Romero, 1999)

1.4.10. Floculadores mecánicos: este tipo de floculadores consiste en proporcionar energía al agua para garantizar una mezcla lenta realizada por medio de agitadores mecánicos, el ejemplar de agitador más utilizado es el de paletas, de estos existen de dos tipos, el de eje horizontal y el de eje vertical donde estos proporcionan movimiento rotatorios al agua así como la turbulencia interna necesaria para el proceso, también se encuentran impulsores de turbiedad y de flujo axial pero estos no son tan usados. Una recomendación es que el equipo agitador mecánico sea de velocidad variable con el fin de que el grado de mezcla varíe. (Romero, 1999)

1.4.11. Sedimentación

Se define por sedimentación “la operación por la cual se remueven las partículas salidas de suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento” (Romero, 1999 P108).

Hay dos formas de realizar la sedimentación que son comunes en la potabilización del agua sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento. El proceso de sedimentación simple es un tratamiento primario que se realiza para disminuir la carga de residuos sólidos que se encuentran en el agua y se pueden sedimentar

para disminuir los sólidos en el proceso de coagulación, este proceso también se le llama pre-sedimentación. En lo que respecta a la sedimentación posterior a la coagulación y floculación después del proceso químico se procede remover los sólidos sedimentables, ya que, han aumentado su peso y tamaño, sedimentándose por gravedad y removiendo factores como el color y turbiedad. Este proceso va seguido generalmente por la filtración (Romero, 1999).

Los tipos de sedimentación se efectúan de distintas formas debido a la naturaleza de los sólidos, se encuentran fragmentos llamados discretos estas no cambian de tamaño, peso o forma a la hora del proceso de sedimentación, el otro tipo que se efectúa son las floculentas y precipitantes donde el volumen y la densidad cambia, en este caso las partículas, si se adhieren entre ellas mediante el proceso de floculación, precipitación, arrastre, sabiendo que existen diferentes tipos de partículas con diferentes tamaños, formas y pesos, se debe de considerar diferentes tipos de sedimentación (Romero, 1999).

Ahora bien, para este proceso se debe de realizar los dos tipos de sedimentación que son sedimentación tipo 1 que hace referencia a la remoción de sólidos discretos no floculentos en una suspensión diluida, este sería el caso donde las partículas pesadas inertes se sedimentarían, en la sedimentación tipo 2 es cuando la sedimentación de suspensión de partículas floculentas donde es necesario evaluar las propiedades de suspensión junto con las características de asentamiento (Romero, 1999).

1.4.12. Filtración

El proceso de filtración consiste en remover las partículas que no consiguen sedimentarse, donde se hace pasar el agua por un material poroso, uno de los medios filtrantes más utilizados para filtros por su porosidad, es la arena colocada sobre una capa de grava.

Según Romero Rojas el primer filtro de arena se inventó en Escocia en 1804 y en 1829 una compañía que laboraba en un río de Londres, llamado Támesis, realizó lo que fue la construcción de filtros de arena y hasta en el año 1892 pudieron demostrar su eficacia en el control biológico, esto por la epidemia de cólera en Hamburgo (Romero, 1999).

Este proceso es indispensable en la potabilización debido a que es el que

remueve los sólidos restantes, que no logran ser retenidos en los procesos de floculación, sedimentación. Sabiendo que aproximadamente el 90 % del color y la turbiedad son removidos en procesos anteriores como la coagulación y sedimentación, para lograr una buena clarificación se pasa por medios porosos removiendo materiales suspendidos (turbiedad), metales oxidados suelos y microorganismos. En lo que respecta la remoción de microorganismos por medio de este proceso es porque algunos de estos no son neutralizados en la desinfección sino más bien retenidos en la filtración (Romero, 1999).

Siempre se ha pensado que los filtros funcionan como un tamiz que retiene los sólidos en suspensión, pero a su vez este es una acción en conjunto de diversa acciones químicas, físicas y biológicas que suceden en el filtro, la intensidad de esto va a depender de la calidad del agua así como el tipo de filtro, si los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se están haciendo correctamente esto va a beneficiar al filtro, ya que, filtrara mayor cantidad de agua y el mantenimiento sería menos concurrido (Romero, 1999).

1.4.13. Medios filtrantes

Los medios de filtración de cualquier filtro deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser químicamente resistente.
- Resistencia mínima al flujo de filtrado.
- Tener la suficiente consistencia física para resistir las condiciones del proceso (o sea suficiente resistencia para sostener la presión de filtración).
- Retener los sólidos que han de filtrarse con una rapidez después que se inicie la alimentación, proporcionando un filtrado suficientemente claro.
- No debe obstruirse, quiere decir que la velocidad de filtrado disminuye al obstruirse.
- Tener una resistencia aceptable del desgaste mecánico.
- Permitir la descarga del agua limpia y completa.
- La capacidad para confirmarse mecánicamente al tipo de filtro que se utilizará.
- Debe tener un costo que sea amortizado por los gastos del proceso (costo mínimo)
- Contiene materiales como: antracita, arena, carbón activado, arena sílica, arena sílex y otros. (Romero, 1999).

1.4.14. Lavado del filtro

El lavado de los filtros se realiza inyectando agua por la parte inferior de los filtros con el caudal adecuado para que proporcione la presión adecuada, con la finalidad de que el material que se encuentra en el lecho filtrante se expanda para desprender los sedimentos que se han retenido entre los filtros en la operación de filtrado, los filtros se deben lavar cada vez que la pérdida de carga es igual a la presión estática sobre el lecho o la calidad del efluente disminuya (Romero, 1999).

1.4.15. Desinfección

El proceso de desinfección es el último que se realiza, el propósito es la eliminación de microorganismos patógenos, bacterias, virus, entre otros. Los diferentes tipos de métodos que se usan de fácil obtención son: cloro, cloraminas, radiación ultravioleta y ozono. No obstante, la más utilizada es el cloro debido a su fácil obtención y al bajo costo que presenta, así como eficaz por ende es el más utilizado (Romero, 1999).

1.4.16. Los métodos de desinfección se explicarán cada uno de ellos

Debido a la gran variedad de métodos de desinfección en las plantas potabilizadoras se procede a evaluar y analizar cual método de desinfección es más adecuado para cada planta potabilizadora, donde se observan parámetros como precio, facilidad de obtención, tiempo de desinfección o bien la eficiencia que tiene en la desinfección.

1.4.17. Desinfección por cloración

La cloración se puede realizar en forma gaseosa o líquida, la dosificación del cloro inicia en el cilindro que une al clorador y al múltiple de suministro de cloro, esto si se uniera más de un cilindro, en caso de que fuera gaseoso el sistema de dosificación tiene el fin en el punto en donde la solución de cloro se mezcla con la masa de agua que se vaya a desinfectar (Romero, 1999). Es el sistema de desinfección más utilizado para la desinfección de agua potable, la función de este es eliminar las bacterias, virus y microorganismos patógenos que se encuentren en el agua luego de terminar el proceso de filtración, estos pueden afectar la salud de la población causando enfermedades, para

que la cloración funcione adecuadamente se debe de dejar en un tanque por un tiempo estimado para que se desinfecte en su totalidad y luego pueda ser distribuida a la población de forma segura.

Las ventajas de utilizar el método de desinfección de cloración:

- Es un producto de bajo costo.
- Es muy tóxico para la mayor parte de microorganismos, debido a que el cloro detiene las actividades metabólicas.
- Es de fácil obtención, ya sea, en gas, líquido o en polvo.
- La aplicación de este desinfectante es de fácil, debido que tiene alta solubilidad.
- Deja una concentración residual en el agua potable, que no genera daños a las personas, también protege el sistema de distribución.

1.4.18. Desinfección por radiación ultravioleta

El proceso de desinfección por radiación ultravioleta es un proceso físico el cual tiene la función de inhabilitar bacterias, virus y protozoos, no es un método muy popular pero cada vez es más utilizado en comunidades pequeñas. El funcionamiento de desinfección tiene su origen en un fenómeno físico donde las ondas cortas de radiación ultravioleta afectan el material genético (ADN) de los microorganismos, así como virus y bacterias destruyéndolos en un periodo de tiempo muy corto, a la vez este proceso no produce cambios químicos y físicos en el agua tratada. (Wright, H.B. y Cairns, W.L. 2001).

Las ventajas de la desinfección por radiación ultravioleta:

- No necesita productos químicos.
- La operación de este proceso es sencilla.
- Es de fácil mantenimiento.
- El tiempo de expansión es relativamente corto en comparación con la duración del contacto necesario para los desinfectantes químicos convencionales, ya que, el sistema no cuenta con tanques de contacto (Wright, H.B. y Cairns, W.L. 2001).

1.4.19. Desinfección por ozono

El sistema de desinfección de ozono en un sistema bastante antiguo, la desinfección por este sistema consiste en añadir cantidades de ozono en un tiempo determinado y la cantidad suficiente para que el ozono pueda cumplir su función de desinfectar el agua eliminando los virus y microorganismos.

El ozono es un gas formado por tres átomos de oxígeno que a la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable y procede a descomponerse rápidamente, por esta razón se crea en el sitio para ser utilizado inmediatamente el cual se usa bastante en la desinfección del agua potable, ya que, es muy eficiente (Mora, 2019).

Posee características singulares que lo hacen popular como método de desinfección, ya que, tiene una propiedad alta oxidante y este permite eliminar compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradable al agua y también cuando se desea eliminar virus, microorganismos patógenos (Mora, 2019)

1.4.20. Algunas ventajas de la desinfección por ozono son:

- Elimina malos olores, color y sabor.
- Elimina todo cuerpo viviente en el agua ya sean virus o bacterias.

Desventajas:

- Es muy tóxico para la vida acuática.
- Daña los órganos tras exposición prolongada.
- Causa lesiones oculares graves exponerse al ozono, el costo es elevado.

1.4.21. Desinfección solar

La desinfección solar es uno de los sistemas de desinfección de agua potable más simples y de costos más bajos, y poder proveer agua con una calidad permisible para el consumo de las personas, este sistema de desinfección es conveniente de utilizar en zonas donde por razones económicas o socioculturales de los pobladores, incluso es más factible que otros métodos de fácil acceso y bajo costo como lo son como la cloración y la filtración.

El proceso de desinfección solar que se fundamenta en elevar la temperatura del fluido (agua) que se encuentra en contenedores con la radiación solar, por lo general se busca que el material de los contenedores sea de materiales conductores de calor, al

igual que su color por normal se utiliza el color negro, ya que, tiene la característica de absorber el calor y también conserva el calor por más rato (Mora, 2019).

1.4.22. Las ventajas de la desinfección solar:

- Es un sistema de desinfección muy económico.
- La aplicación de este sistema es muy sencilla.

1.4.23. Desinfección por filtración lenta

La desinfección por filtración lenta es el sistema de desinfección más viejo del mundo, utiliza el mismo proceso de desinfección que se utiliza en la naturaleza por ejemplo cuando llueve, el agua se empieza a filtrar sobre los estratos terrestre hasta que se forman ríos subterráneos o mantos acuíferos, por medio de este proceso de filtración lenta se puede remover partículas que causen color o turbiedad del agua y desinfecta por medio de la retención en los microorganismos que luego suelen ser retirados del filtro, el material más utilizado es la arena (Mora, 2019).

1.4.24. Tratamientos de lodos de las plantas potabilizadoras

Las plantas potabilizadoras de agua al procesar el agua retienen sólidos que vienen en el agua los cuales luego de pasar por diversos procesos son removidos en forma de lodos, por lo general los lodos provienen de diversos procesos.

1.4.25. Sedimentación simple

La sedimentación simple es utilizada en ciertos tanques antes de iniciar con los procesos químicos de coagulación, se realiza este proceso con el fin de sedimentar arenas, arcillas, materia orgánica o vegetal. Los materiales sedimentados (lodos), se retiran por medio de diversos métodos, ya sea, manual o mecánico. (Romero, 1999).

1.4.26. Remoción de hierro y manganeso

La remoción de estos metales se encuentra integrado primordialmente por la precipitación de hidróxido férrico y de óxidos mangánicos. (Romero, 1999).

1.4.27. Coagulación química

Esta formados por el lodo de los sedimentadores, estos lodos están compuestos por las precipitaciones de hierro, aluminio o sales que son comúnmente utilizados como coagulantes, también materia inorgánica y orgánica o bien arenas y arcillas, así con agentes coagulantes que

son transportados por el agua, por lo usual los lodos sedimentadores de agua coagulada no tienden a descomponerse. (Romero, 1999).

1.4.28. Adsorción

En algunos casos las plantas de purificación de agua potable disponen de sabores y olores, por lo tanto, se utiliza carbón activado para eliminar estas características no aceptables en el agua potable, este contribuye a una cantidad muy pequeña de sólidos producidos que son importantes al generar un aporte a los lodos. (Romero, 1999).

1.4.29. Consideraciones ambientales

Se debe de tener en cuenta los efectos de los lodos en el ambiente como lo son:

- Se debe descargar aguas con carbón activo solo en zonas donde no afecte el medio, ya que, produce colores oscuros y genera desagrado en el agua.
- Los lavados de filtros en ocasiones son causantes de contaminación bacteriana patógena, aumentando el crecimiento de microbio del agua donde se estén desechando el agua de los filtros. (Romero, 1999).
- Los lodos de alumbre pueden causar secuelas intoxicando organismos acuáticos por exceso de aluminio.
- Los lodos también aumentan la turbiedad del agua.

1.5. Partes de la planta potabilizadora de Zagala Vieja

1.5.1. *Tanque de almacenamiento*

Los tanques de almacenamiento son aquellos que cumplen la función de abastecer una zona determinada por un tiempo determinado, dando la oportunidad a la planta potabilizadora de otorgar un caudal constante de la demanda variable de la zona de servicio. Estos tanques son útiles por que se tienen muchas fluctuaciones horarias, así como cuando hay algún daño o rutina de mantenimiento en la planta no dejar a los habitantes sin agua (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial, indica que dichos tanques de almacenamiento se deben de diseñar para cuatro volúmenes fundamentales para el abastecimiento de agua para una

respectiva Zona como lo es el Volumen de regulación del consumo, Volumen de almacenamiento, Volumen de reserva para incendios y Volumen de reserva para interrupciones. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017)

Los tanques de almacenamiento se construyen a nivel del suelo de forma superficial, con la característica de que el suelo tenga una carga admisible apta para que soporte las cargas impuestas por el peso del tanque, cuando el tanque se encuentra enterrado es porque las capas superficiales de suelo no eran aptas para soportar las cargas admitidas del tanque, la ventaja de colocar los tanques superficiales es que aportan más energía al agua.

Los tanques de almacenamiento deben de contar con características básicas como:

Impedir el ingreso de agua de lluvia u otras fuentes, que no sea propiamente de la conducción (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

- Escalera de acceso para realizar inspecciones y mantenimiento.
- Válvulas o aperturas para el ingreso y salida de aire.
- Tuberías de salida de agua para realizar lavados y mantenimiento
- Válvulas de control de entrada de agua, para controlar la capacidad y rebose.
- Registros o accesos al interior del tanque.

1.5.2. *Floculador ascendente*

Los floculadores tienen la función de unir las partículas coaguladas haciendo que las partículas fluyan a velocidades bajas uniéndose unas a otras, en los floculadores ascendentes lo logran cuando el fluido sube y baja en las divisiones que se encuentran en el tanque, el proceso se realiza a bajas velocidades, ya que, si el fluido va muy rápido las partículas coaguladas tienden a romperse en vez de adherirse entre ellas la mayoría de estos floculadores son hidráulicos, las ventajas que tienen es que son muy económicos, ya que no necesitan de una impulsión mecánica para realizar el proceso.

1.5.3. *Tanque de bombeo*

Los tanques de bombeo, cumple la función de almacenar una cantidad determinada de fluido para que esta proceda con una energía y caudal constante al siguiente proceso, por ejemplo, si el caudal que se necesita que llegue a los filtros debe de ser constante, se debe de colocar un tanque antes del proceso (CONAGUA, 2015).

1.5.4. *Tanque de agua lixiviada*

Se denominan tanque de lixiviado a los tanques que reciben las aguas que contienen residuos sólidos que provienen de un proceso anterior, como por ejemplo el de filtración, las aguas que contienen sólidos deben de dirigirse a tanques de lixiviados o cuando se lavan los filtros o bien el agua drenada del lecho filtrante (CONAGUA, 2015).

1.5.5. *Lechos de secado*

Los lechos de secado son la parte de la planta donde al ser cargados con lodos recolectan el lixiviado y estos permiten que los lodos se sequen permitiendo que el agua que contienen se evapore, un 50 % a 80 % del volumen del lodo se evapora, este sistema es muy común en plantas potabilizadoras pequeñas y en ocasiones no se realiza un mantenimiento adecuado, este sistema es uno de los métodos más económicos y simple para deshidratar los lodos, consiste en colocar los lodos en una pila que en su interior contiene materiales como gravas o arenas, las cuales permiten que el agua de los lodos se filtren y se deshidraten por medio de evaporación, a estos se les debe de dar un constante mantenimiento, así como estar retirando los lodos ya secos para su respectivo desecho. (CONAGUA, 2015)

Ventajas

- Requiere un costo bajo de inversión en plantas pequeñas.
- La operación es simple, requiere muy poco mantenimiento.
- No requiere energía eléctrica.
- Una eficiencia muy alta de secado en zonas muy secas y calientes.
- Se pueden variar los lodos y no afectan el proceso.
- Los materiales con los que se construye son de fácil acceso. (CONAGUA, 2015).

Desventajas

- Necesita una extensión considerable de área.
- Para limpiarlos el costo aumenta, ya sea, que el lodo se remueva de forma manual o mecánica.
- La obtención de los permisos, así como posible contaminación de aguas.

- Mucha mano de obra la remoción del lodo seco.
- Causa molestias de olores.
- Se deben de utilizar en lugares secos. (CONAGUA, 2015).

1.5.6. Tubería

La tubería es la composición de dos o más tubos ensamblados por medio de un sistema que los permita mantenerse unidos entre sí y pueda permitir la conducción del agua de una forma fluida y sin pérdidas, existen tuberías de diversos materiales que dependiendo del material va a cambiar algunas características para transportar el fluido como la rugosidad, resistencia mecánica durabilidad, corrosión, calidad de conservación en el agua, costos, vida útil, etcétera, algunos de los materiales más comunes son: plásticas, hierro fundido, concreto, acero. (CONAGUA, 2016).

1.5.7. Transmisor indicador de PH

En un instrumento indispensable en las plantas potabilizadoras el cual mide la acidez o la alcalinidad del agua conocido como pH. También el pH es la unidad en la que se mide el grado de acidez y alcalinidad, la escala en la que se mide es de 0 a 14, en las plantas potabilizadoras se utiliza para calibrar la acidez del agua, ya que, se norma el nivel de acidez de acuerdo con la normativa (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.5.8. Bombas

Las bombas son las encargadas de impulsar el agua, ya que, ellas transformando la energía mecánica en energía para generar la impulsión del agua. Las bombas deben de adquirirse para un caudal específico máximo a bombear, así como las diferencias de altura a la que se va a transportar el agua y la longitud a donde se requiere hacer llegar el agua (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

1.6. Inspección inicial

La inspección inicial consiste en hacer observaciones de la planta, así como un análisis de ella y anotar las características de la planta como la ubicación, la fuente de abastecimiento,

calidad de la fuente, características de la planta, en las características de la planta obtener caudal de la planta, tipo de planta entre otros (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.1. *Análisis de información*

Se procede a analizar toda la información recopilada de la inspección inicial logrando determinar la capacidad potencial de producción de la planta esto quiere decir que el caudal que se esté potabilizando sea uniforme en cada proceso (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.2. *Evaluación de la producción*

Aquí se evalúan ciertos parámetros como la turbiedad del agua post proceso ya que la turbiedad influye en el color del agua, así como el pH, olor y sabor sean los correctos y los permitidos.

1.6.3. *Diagnóstico preliminar*

En el diagnóstico preliminar se informa si la planta no está alcanzando las metas de producción, si las unidades de decantación no tienen capacidad para producir el caudal pico de operación. Parámetros de calidad como color y contaminación fecal, así como turbiedad, determinar la velocidad óptima de decantación con el objetivo de optimizar el proceso (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.4. *Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención.*

Este análisis se realiza con el fin de buscar el funcionamiento óptimo de la planta potabilizadora, ya que muchas plantas de tratamiento de agua no tienen la eficiencia esperada por diversos motivos, ya sean deficiencias hidráulicas que pueden ocasionar determinadas características en el flujo de la unidad y así afectando los periodos de retención del agua en los reactores. Estas causas tienen su origen en las deficiencias en la práctica inadecuada de la operación de las unidades, así como un mal diseño de esta.

1.6.5. *Modelos de flujo*

Este modelo en la práctica y unidades de tratamiento de plantas potabilizadoras de un análisis hidráulico posee dos tipos continuo e intermitente o discontinuo (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.6. *Flujo intermitente*

Este tipo de flujo intermitente o discontinuo es el menos común, se fundamenta en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido mientras tanto sucede el proceso correspondiente, que puede realizarse con o sin la respectiva mezcla, luego se procede a vaciar la unidad y repetir el ciclo, este tipo de flujo es poco práctico y regularmente los procesos en las plantas de tratamiento son de flujo continuo, el flujo discontinuo se utiliza en pruebas de laboratorio o experiencias piloto.

Como ejemplo del flujo intermitente constituye la prueba de jarras, donde se llenan los vasos con un volumen de líquido, luego se somete a un tratamiento durante un tiempo determinado de retención, al terminar se vacían y se procede a prepararse para una nueva prueba, toda la masa de agua permaneció en el reactor durante un tiempo determinado (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.7. Flujo continuo

El flujo continuo es el más común en las plantas potabilizadoras, con la característica de que los reactores pueden ser de mezcla, flujo de pistón y no ideal.

Flujo de pistón

Son las partículas de fluido que ingresan a la unidad, las cuales se mantienen en ella, de esta forma el flujo que ingresa al sistema es descargado de inmediato, donde no hay ningún tiempo de retención, no habiendo ningún tipo de mezcla entre el fluido que se encuentra en la unidad y el que está en ella (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005)

Flujo de mezclado

Este flujo tiene la particularidad que al ingresar el flujo al reactor el mezclado se dispersa dentro del mismo.

Flujo no ideal

En un flujo intermedio del de mezcla completa y flujo a pistón.

1.6.8. Influencia de tiempo de retención

El tiempo de retención es utilizado en las plantas de tratamiento de agua potable ya que en los procesos de retención deben de ser largos o cortos estos dependiendo del proceso con el fin de que la reacción química se efectuó correctamente y por ende se debe de tener control en los tiempos de retención (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración

rápida, 2005)

1.6.9. Ensayo con trazadores

Estas pruebas de trazadores son muy comunes para determinar el flujo de canales, ríos, acuíferos subterráneos y reservorios. Este ensayo de trazadores en plantas de tratamiento de agua potable su uso es limitado, sin embargo es muy útil ya que determina la distribución del flujo en unidades paralelas y evalúa las condiciones hidráulicas, estos ensayos en la actualidad son muy utilizados primordialmente para determinar los tiempos reales de retención y sus fundamentales características hidráulicas son : tipos de flujo, cortacircuitos hidráulicos, en unidades de tratamiento de mezcla rápida, espacios muertos así también en los sedimentadores, floculadores, también en los modelos de reactores en etapa de diseño, esto con el fin de conocer cómo se va a comportar hidráulicamente y también saber si tiene deficiencias antes de que se construya, lo cual permite hacer cambios para el diseño y que sea de forma óptima y funcione bien, este ensayo se puede utilizar para medición de caudal lo cual es muy útil para evaluaciones.

El ensayo de trazadores consiste añadir la sustancia trazadora en el afluente del tanque o reactor al que se va a realizar el análisis, la concentración que se debe agregar debe de ser conocida y estableciendo a la salida la forma de como la concentración se distribuye a través del tiempo en el flujo (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

1.6.10. Sustancias trazadoras

Existen muchos tipos de sustancias utilizadas en el ensayo de trazadores algunas de estas pueden ser:

- Colorantes como fluoresceína o rodamina.
- Iones como cloruros, especialmente de sodio o potasio, fluoruros o nitrato.
- Elementos radiactivos como isotopos.
- Ácidos: clorhídrico, benzoico.
- Otras sustancias químicas: alizarim, sapirol, naptol.

2.1. Marco Metodológico

Capítulo II

2.2.1. Paradigma

Se habla de la escasez de agua y lo indispensable que es el agua para el desarrollo de la humanidad, donde hay agua y medios que puedan potabilizarla hay desarrollo, no obstante, la potabilización del agua es una de las áreas más importantes de la ingeniería civil y ambiental ya que por medio de esta se han desarrollado grandes ciudades, se puede decir que el agua y la potabilización son los pilares primordiales para el desarrollo de la humanidad, en conjunto con la ingeniería civil, han innovado a tal forma de potabilizar el agua salada por medio de energía solar (energía renovable), muchas ciudades grandes en el mundo tienen déficit de agua o se pronostica escasez de agua en pocos años, la ingeniería ambiental se encarga de resolver problemas de déficit de agua y abastecer la necesidad de las ciudades, utilizando nuevas tecnologías de potabilización, por ende su importancia.

2.3.1. Enfoque metodológico

El enfoque del proyecto final de investigación es cuantitativo, ya que, se basa en cálculos numéricos, de acuerdo con los datos obtenidos de la planta se analizarán las causas y efectos, investigando y resolviendo las deficiencias, también resolver a lo planteado en los objetivos, de forma cuantitativa se realizará por medio de recopilación de datos básicos de la planta, revisión de los planos, datos obtenidos por medio de ensayos, fichas técnicas y antecedentes de esta, se procederá a realizar memorias de cálculo para la evaluación de la planta potabilizadora siguiendo las normas y códigos establecidos.

2.4.1. Métodos de investigación

En este proyecto se realizará una investigación experimental, ya que, se utilizarán variables independientes donde se observará el efecto que tendrá en variables dependientes, perteneciendo al método de investigación cuasiexperimentos, un ejemplo de este puede ser el ensayo de trazadores donde el trazador será la variable independiente donde los resultados, análisis y observaciones del ensayo serán las variables

dependientes.

2.4.2. Categorías de análisis de la investigación

VARIABLES	VARIABLE INDEPENDIENTE	HERRAMIENTA POR UTILIZAR	VARIABLE DEPENDIENTE
Evaluar las condiciones actuales, hidráulicas y sanitarias de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, Montes de Oro, Puntarenas.	La variación de aluminio, turbiedad y color.	Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S (2015) Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017)	Cumplir con la evaluación de la planta potabilizadora, los parámetros son turbiedad, aluminio 0.2mg/L, cloro 0.3mg/L a 1mg/L y pH 6 – 8 esto según la norma.
Examinar el funcionamiento de cada uno de los procesos de potabilización del agua como la coagulación, floculación, filtración y la desinfección haciendo sus respectivas	El caudal que ingresa a la planta, el clima puede afectar en los ensayos.	Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida. (Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada). (2005).	Cumplir con la examinación de los procesos de potabilización, los resultados obtenidos mostraran que se el cumplimiento.

evaluaciones
hidráulicas y
sanitarias de la
planta
potabilizadora,
esto se va a realizar
con pruebas de
campo, ensayos,
cálculos e
inspecciones.

Fuente: propia

2.5.1. Población y muestra

En este proyecto la población es toda la planta potabilizadora y la muestra son los datos e información que se obtenga de la planta potabilizadora, ya que, con las muestras obtenidas se podrá evaluar el estado en el que se está entregando el agua y si los procesos se están realizando correctamente, la cantidad de muestras dependerá del ensayo, las características de la planta y el caudal que esté ingresando a la planta.

2.6.1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

Se iniciará recolectando los datos de la planta como archivos de control de operación de la planta, planos de la planta, obtener el esquema de flujo de la planta, el manual de operación y mantenimiento si es que lo tiene, así mismo los manuales de los equipos, gastos que genera la planta y la capacidad de la planta, luego se realizará una inspección preliminar donde se recopilarán los datos del control de operación, se llenarán fichas técnicas, así también se tomarán muestras del agua, se estará visitando constantemente la planta para poder estar realizando la comparación de información.

Se realizarán pruebas, una de ellas es la de trazadores con la cual se obtendrá información respecto al funcionamiento de la planta potabilizadora, esta prueba se realiza agregando un trazador, en este caso se utilizará sal como trazador, se agregará

sal a la parte o elemento de la planta que se vaya a evaluar para luego en la salida del flujo de agua mostrar la guía del caudal se puedan obtener las muestras para determinar si el caudal está siendo uniforme.

Se utilizará un pHmetro para la medición de la acidez del agua y se estará midiendo el pH constantemente.

Se realizará la prueba de jarras la cual consiste en determinar la turbiedad del agua.

La evaluación de los mezcladores mecánicos (estáticos) se realizará por medio de los siguientes ensayos sugeridos por el manual III de evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada son los siguientes:

2.6.2. Evaluación del proceso de coagulación.

2.6.3. Manejo y almacenamiento de sustancias químicas

Las sustancias químicas deben de almacenarse en lugares seguras que se encuentren protegidos del ambiente, animales y personas.

2.6.4. Dosificación de sustancias químicas

Se debe de tomar en cuenta las características del agua así, como el tipo de coagulante que se requiere, la concentración óptima del coagulante seleccionado (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.9. Evaluación de floculadores

2.6.10. Unidades de grava

Este ensayo se realiza a unidades de pantalla de flujo horizontal donde se debe de determinar que el espaciamiento entre las pantallas sea uniforme en cada unidad, que la profundidad inicial y la final de la unidad son iguales (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.11. Caudal de operación

Para los ensayos y cálculos que se van a realizar se necesita conocer el caudal de operación de la planta potabilizadora si solo se tiene una unidad el caudal de operación será igual al caudal de operación de toda la planta (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.12. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad

Mediante la prueba de trazadores se determina el tiempo real de retención.

2.6.21. Evaluación de filtros

2.6.23. Características del proceso de filtración

Se debe valorar las variaciones que tienen las velocidades de filtración en el proceso de calidad del filtrado preliminar (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.24. Velocidad y caudal de filtración

Esta práctica tiene el objetivo de determinar si los filtros tienen la velocidad adecuada si como que producen agua de buena calidad luego de ser lavados.

Se procede a revisar el formulario para conocer cuál es el tiempo en que se está lavando, si los filtros se están lavando de la manera correcta y en los tiempos que son (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.25. Calidad del filtrado inicial

Al realizar el lavado de los filtros y retomar la función de la planta, el primer efluente que sale de los filtros sale turbio debido a los residuos que quedaron en el filtro luego la turbiedad se normaliza, la turbiedad que genera el primer efluente depende de lo bien que se haya realizado el lavado de los filtros. Por ende, se determina el comportamiento del filtro en la primera carrera de la filtración y así determinar el tiempo que dura en normalizar la turbiedad. (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.26. Duración de carreras de los filtros

‘En una batería de filtros que funcione correctamente la duración de filtración puede variar entre 30 y 50 horas o más dependiendo de la calidad del agua coagulada’ (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005, p 177) donde se le denomina carrera de filtración al intervalo entre los lavados de un mismo filtro (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.27. Características del sistema de lavado

De cómo se comporte el sistema de lavado de la batería va a depender la conservación del lecho filtrante, por lo que pruebas que se indicarán se deben de aplicar en con el sistema en marcha (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de

filtración rápida, 2005)

2.6.28. *Expansión del medio filtrante*

Se determinará el porcentaje de crecimiento de espesor de lecho filtrante cuando se encuentre en la operación de lavado, el equipo que se necesita es una varilla metálica con cajitas soldadas a una distancia de 5 centímetros entre los bordes de las cajitas, la varilla debe de tener una planchita metálica para que esta no se introduzca en la superficie de la arena.

Se procederá a colocar la varilla dentro del filtro donde se colocará el extremo interno sobre el lecho filtrante, luego se realiza el lavado y 3 minutos después se procede a retirar la varilla observando cuantas cajas están llenas de materia de finos del material filtrante para luego medir la distancia que se encuentra en la cajita que contiene más finos con el extremo inferior de la varilla (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.29. *Duración del proceso de lavado*

Este ensayo consiste en determinar en cuanto tiempo debe de ejecutarse la operación de lavado, el equipo que se usará son 15 frascos de 150 mililitros, un turbidímetro y un cronómetro. Se procede a llenar frascos por cada lavado el número de frascos dependerá de la época del año, luego se obtendrá la turbiedad de la muestra y se realizará la curva de turbiedad versus tiempo (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.30. *Características del medio filtrante*

El medio filtrante es parte indispensable en el proceso de filtración, por ende, es importante conocer cómo deben de ser las características que lo conforman, el tamaño de las partículas, la porosidad, la forma del medio filtrante y su altura (Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida, 2005)

2.6.31. *Granulometría del medio filtrante*

Se determinará la granulometría que compone una respectiva muestra del medio filtrante, esto por medio del instrumento que tiene un juego de mallas de la serie de Tyler se procede a obtener la muestra significativa del lecho filtrante y se pone a secar para luego ser pasado por las mallas para determinar el tamaño de las partículas (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.32. *Estado del medio filtrante*

Se determinará la cantidad de bolas de lodo que se encuentran en el lecho filtrante, para este ensayo se procede a lavar el filtro, drenar el agua y dejar bajo la superficie de la arena para

que drene (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.33. *Espesor del medio filtrante*

En esta práctica se determina la profundidad del medio filtrante, se procede y se introduce una varilla de acero en varias ocasiones hasta que toque con grava y luego se hace la comparación de alturas (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.34. *Evaluación de la desinfección*

2.6.35. *Tiempo real de contacto*

Se procede a determinar el tiempo real de retención con el propósito de obtener el tiempo de contacto, antes de que la masa de agua se distribuya.

Donde se toma la muestra del agua clorada en la salida del efluente y de esta forma determinar el cloro residual presente.

Tomar el tiempo correspondiente a la muestra, donde presenta un incremento del cloro residual (Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, 2005).

2.6.36. *Dosis óptima de contacto*

Determinar que la dosis sea la estipulada por las normas, y así analizar el cloro residual apropiado en el punto más alejado.

2.7.1. *Técnicas e instrumentación para el proceso y análisis de los datos*

De acuerdo con los datos obtenidos por medio de los ensayos anteriormente mencionados se realizarán gráficos para luego analizarlos por medio del conocimiento adquirido en el transcurso de la carrera y lo investigado en el proyecto, esto se realizará con la ayuda y el criterio del Ingeniero Leonardo Moya, de acuerdo con la información obtenida en el ensayo de trazadores se determinará si la distribución de caudales que ingresa a los filtros es la adecuada así como los tiempos de retención en el floculador, se utilizarán normas como: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017), Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S (2015), Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida. (Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada). (2005) e Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

(2018).

Como herramientas se utilizarán, como programas:

- Excel
- Word
- PowerPoint
- AutoCAD

En lo que respecta a los equipos para realizar los ensayos estos serán proporcionados por el AyA, incluyendo laboratorios y un guía que tenga conocimientos y ubique las partes que la conforman.

Los datos obtenidos gráficos, inspecciones visuales, observaciones, resultados obtenidos de los cálculos realizados se utilizarán para diagnosticar el estado y funcionamiento de la planta, para entregar recomendaciones a las respectivas deficiencias encontradas y generar un presupuesto detallado para el mejoramiento de esta.

3.1 Análisis de resultado

3.1.1. Inspección inicial de la planta potabilizadora de Zagala Vieja.

Se realizó la inspección inicial de la planta potabilizadora de Zagala Vieja, donde se procedió a llenar la ficha de inspección inicial, donde se describió detalladamente la planta y se anotaron características muy específicas, la ficha de inspección inicial en anexos.

Se describirá el funcionamiento de la planta al igual que los componentes principales, así como dar un diagnóstico previo del estado de la planta, esto observando el estado de los componentes de la planta.

3.1.2. Calidad de la fuente

El agua de la planta se obtiene de una naciente la cual mantiene un pH promedio de 3.5, contiene 4355 ml/g a 5169 ml/g de aluminio y una turbiedad que ronda 0.4 a 6.5 unidades, esto debido a que es una naciente, por lo que la turbiedad en época lluviosa no se ve afectada ya que la toma es subterránea y protegida.

Calidad de agua en las nacientes Cabuyal

Figura 1 Calidad de agua en las nacientes Cabuyal

Parámetro	Promedio	Máximo	Norma
Alcalinidad (mg/L)	0.1	2.0	-
Aluminio (µg/L)	4355	5169	200
Antimonio (µg/L)	ND	ND	5
Arsénico (µg/L)	ND	ND	10
Cadmio (µg/L)	ND	ND	3
Calcio (mg/L)	9.3	11.2	100
Cloruros (mg/L)	1.6	6.0	25 – 250
Cobre (µg/L)	11.2	23.3	1000 – 2000
Color aparente (uPt-Co)	ND	ND	5 – 15
Conductividad (µS/cm)	166	225	400
Cromo (µg/L)	ND	ND	50
Dureza de Ca (mg/L)	23	28	-
Dureza total (mg/L)	23	50	300 - 400
Fluoruro (mg/L)	0.1	1.0	0,7
Fosfatos (mg/L)	ND	ND	-
Hierro (µg/L)	111	181	300
Magnesio (mg/L)	0.9	1.0	30 – 50
Manganeso (µg/L)	54	75	100 – 500
Mercurio (µg/L)	ND	ND	1
Níquel (µg/L)	3.3	3.3	20
Nitratos (mg/L)	1.3	6.0	25 - 50
pH	3.4	6.1	6,0 - 8,0
Plomo (µg/L)	1.2	1.2	10
Potasio (mg/L)	2.0	2.2	10
Selenio (µg/L)	0.7	0.7	10
Sodio (mg/L)	3.0	3.0	25 – 200
Sulfatos (mg/L)	52	89	25 – 250
Turbiedad (UNT)	0.4	6.4	1 – 5
Zinc (µg/L)	25.6	30.2	3000

Fuente: AyA (2018)

3.2.1. Características de la planta

Es una planta de filtración rápida ubicada en Zagala Vieja, Montes de Oro de Puntarenas, la principal función es la corrección de pH y la remoción de aluminio, la planta cuenta con dos cámaras de contacto, un floculador ascendente, un tanque de pulmón, tres filtros presurizados, dos tanques de almacenamiento, una tolva, tres lechos de secado y una caseta de dosificación de NaOH al 50 %.

3.2.2. Cámaras de contacto

Las cámaras de contacto tienen la función de regular el pH, son compartimientos rectangulares de concreto reforzado que en su interior poseen piedra caliza. La cámara de contacto #1 se encuentra fuera de servicio debido a que presenta fugas, la cámara de contacto #2 se encuentra en buen estado, las dos cámaras de contacto necesitan reparación de las tapas, así como de tratamiento de los hongos generados en las paredes de ellas.

3.2.3. Floculador ascendente

Es una estructura de concreto reforzado con acero estructural (tanque elevado), donde el agua entra en la parte inferior por medio de un fondo falso en su interior contiene tres capas de materiales (grava, antracita y arena sílex) con distintas granulometrías, cumple la función de

mezclar el NaOH con el agua provocando una reacción química que produce que el aluminio precipite (flocule), y sedimente en la parte superior de la unidad, finalmente el agua sale por la parte superior, al lado contrario del ingreso. El floculador se encuentra en buen estado según la inspección realizada a la estructura de la unidad, sin embargo, se encontraron fugas en la tubería de salida del floculador.

3.2.4. Tanque pulmón

El agua que sale del floculador ascendente se deposita en el tanque de PEAD que tiene una capacidad de 6000 litros, este tanque cumple la función de almacenar agua a la que ya se le ha realizado el tratamiento primario para que luego ser bombeada a los filtros presurizados, el tanque posee un sistema de boyas, este sistema indica si está vacío o lleno el tanque, el agua solo es bombeada cuando el tanque está lleno. El tanque pulmón se encuentra en buen estado según la inspección realizada.

3.2.5. Filtros presurizados

Los filtros presurizados son tres tanques cilíndricos, la carcasa de los cilindros está formada de polietileno recubierto de fibra de vidrio, diseñado para resistir 10.5 kg/cm² o 105 mca (150 psi), el lecho filtrante está formado por tres materiales diferentes en granulometría, el lavado de los filtros se programa de forma manual, manipulando válvulas. Según la inspección realizada los filtros al ser lavados están desechado material del lecho filtrante (antracita), esto puede indicar que el lecho filtrante ya cumplió su vida útil.

3.2.6 Tanques de distribución

La planta cuenta con dos tanques de almacenamiento, uno de concreto reforzado con una capacidad de 25 m³ y otro de PEAD con una capacidad de 22 m³, la capacidad de almacenamiento de los dos tanques es de 47 m³. En la inspección realizada a los tanques, se observó que el tanque de almacenamiento de concreto necesita que se le realice un lavado ya que en su interior posee lana, la tapa del tanque de almacenamiento esta despegada y no cumple la función de evitar que pueda ser ingresada alguna sustancia (heces de animales, materia vegetal, entre otros) en el tanque, las paredes tienen hongos que debilitan la estructuras, estructuralmente se encuentra en buen estado; el segundo tanque se encuentra en buen estado.

3.2.7 Tolva de recepción de agua de los tanques presurizados

Al lavar los filtros presurizados periódicamente, se debe enviar el agua del lavado a la tolva de lavado, en la tolva se deja reposar durante 24 horas para que se

separe el agua decantada y los lodos, este tiene una capacidad de 3000 litros. La tolva se encuentra en buen estado, aunque no se encuentra en uso.

3.2.8. Lechos de secado

La planta cuenta con tres lechos de secado, es donde se colocan los lodos para que se deshidraten y luego sean removidos y desechados. Los lechos de secado se encuentran en buen estado, pero no se encuentran en uso.

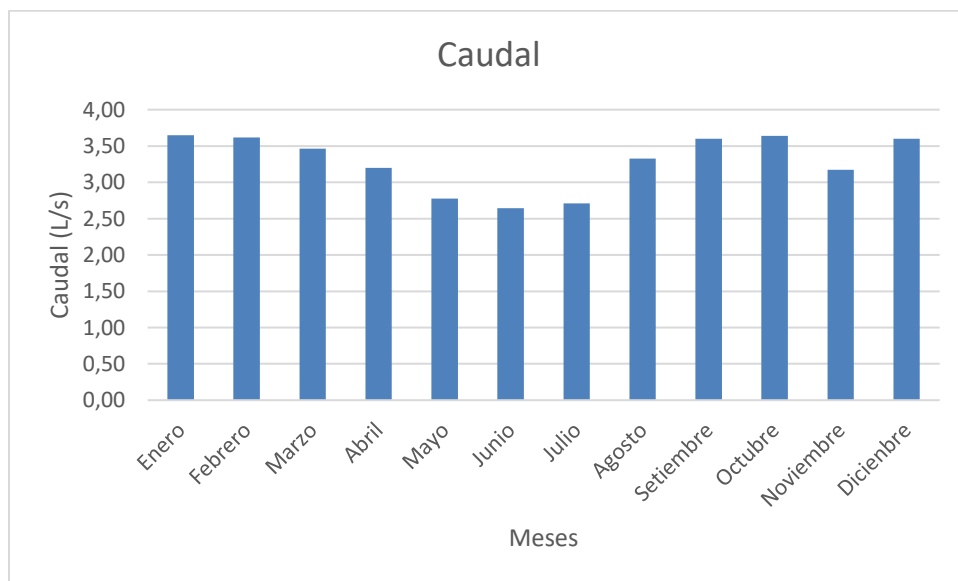
3.3.1. Datos recolectados de la planta

Con los datos de la planta proporcionado por el personal del AyA, se procedió a realizar gráficos para determinar si la planta en el año 2021 cumplió con los parámetros que rige el Ministerio de Salud.

3.3.2. Caudal de la planta

En el siguiente cuadro se muestra el promedio de caudal por cada mes del año, se graficó para observar el comportamiento en el año 2021 y observar los meses que recibe menos caudal.

Gráfico 1 Caudal del año 2021



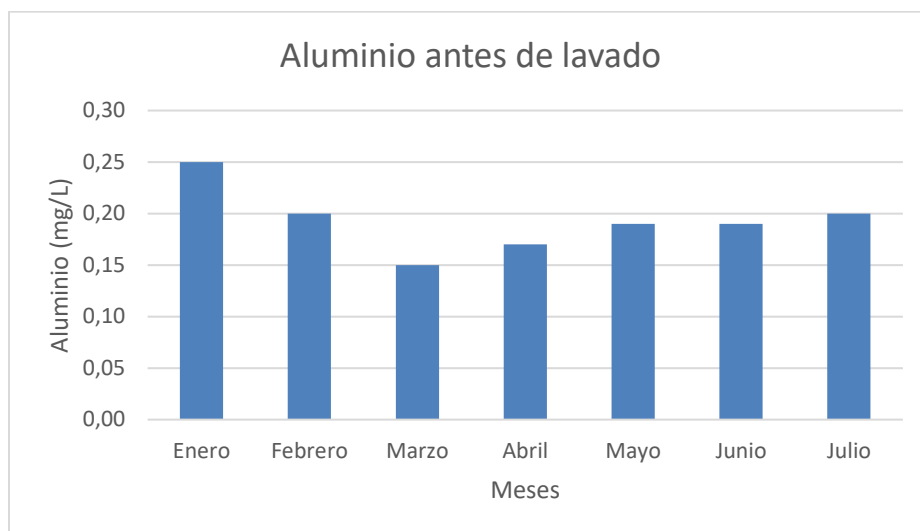
Fuente: propia

La planta recibe normalmente 3.5 l/s, las variaciones de caudal en el gráfico son debido a la época seca o fugas.

3.3.3. Aluminio antes del lavado

En la siguiente gráfica se puede observar que el aluminio se mantiene en niveles bajos y aceptables, excepto el mes de enero que tiene 0.25 mg/L de aluminio esto debido a fallas en el dosificador estaba descalibrado, el resto de los meses no excede los 0.20 mg/L antes del lavado de los filtros cumpliendo con lo normado.

Gráfico 2 Aluminio antes del lavado

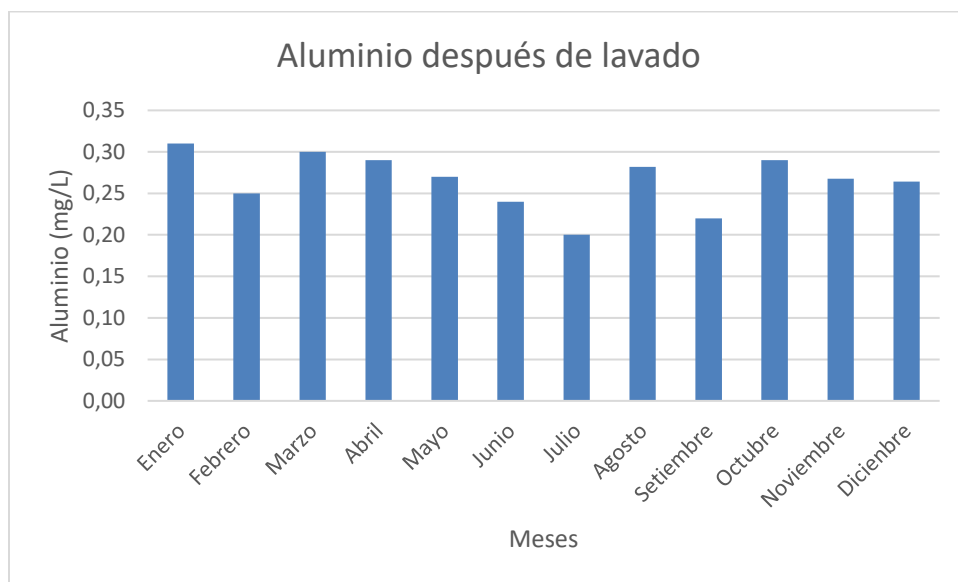


Fuente: Propia

3.3.4. Aluminio después de lavado

Según la siguiente gráfica de aluminio después del lavado de los filtros, se puede observar que el mes en el que se obtuvo los niveles más altos de aluminio fue en enero con 0.32 mg/L, los valores de aluminio altos después del lavado es normal debido que al ser lavados hay una perturbación en las partículas de aluminio que se encuentran en el filtro y la turbiedad aumenta tanto como el aluminio.

Gráfico 3 Aluminio después de lavado

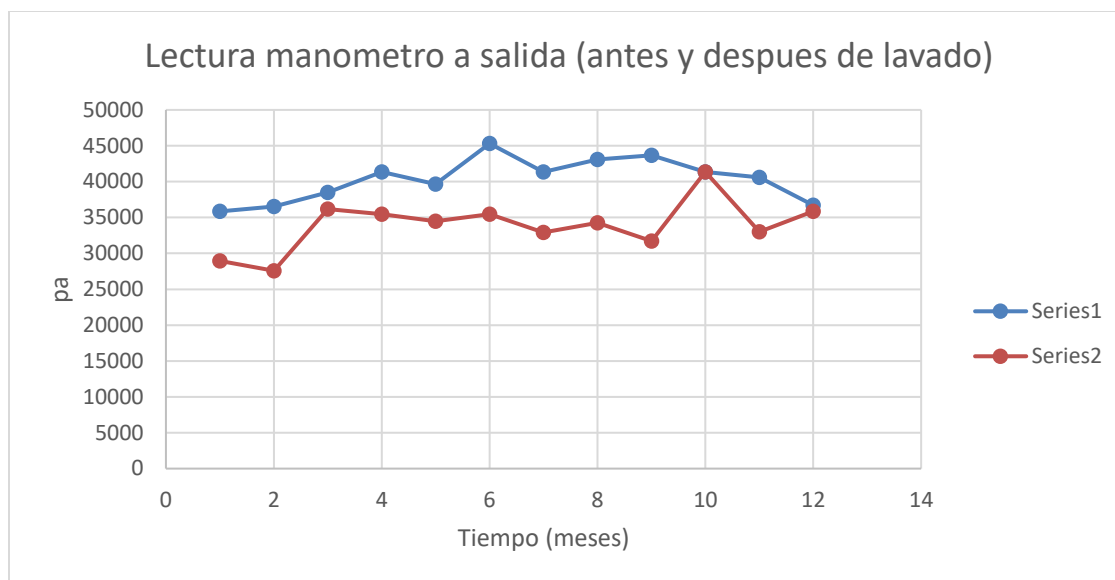


Fuente: Propia

3.3.5. Lectura de manómetro a la salida del filtro

Según lo analizado en el siguiente gráfico, se puede observar que la presión de los filtros disminuye después de que son lavados, es un parámetro importante para saber si los filtros se están lavando bien, en este caso si se está realizando correctamente el lavado de los filtros.

Gráfico 4 Lectura manómetro a salida (antes y después de lavado)

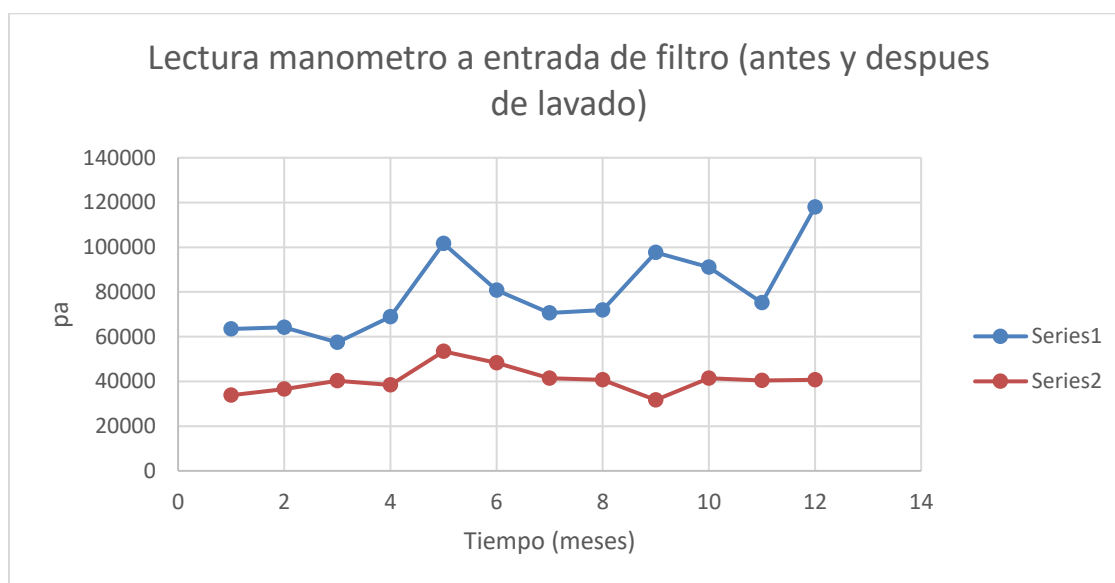


Fuente: Propia

3.3.6. Lectura de manómetro a la entrada del filtro

Analizando el siguiente gráfico se puede observar que la presión antes del lavado es considerablemente más alta que la presión después del lavado esto indica que los filtros se están lavando correctamente, las presiones más altas antes del lavado se tuvieron en diciembre, sin embargo, el lavado se realizó correctamente ya que la presión disminuyó considerablemente.

Gráfico 5 Lectura a entrada de filtro (antes y después de lavado)

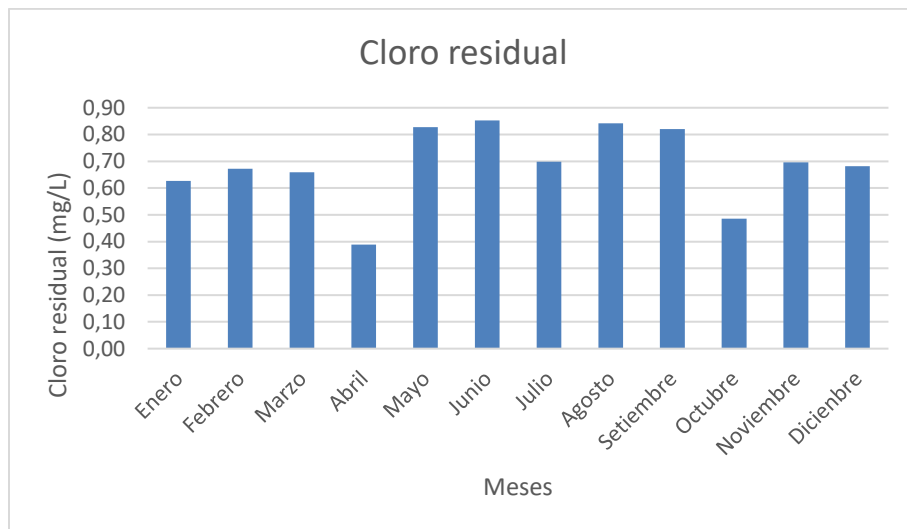


Fuente: Propia

3.3.7. Cloro residual

Con los datos recolectados de las bitácoras se realizó el gráfico de cloro residual, obteniendo los promedios por mes para luego graficar todos los meses del año, observado en el gráfico, todos los meses están cumpliendo con lo normado por el cloro residual ya que el rango de cloro residual va de 0.3 mg/L a 1mg/L, el mes que tuvo el cloro residual más bajo fue abril con 0.39 mg/L y el más alto fue junio con 0.84 mg/L.

Gráfico 6 Cloro residual



Fuente: Propia

3.4.1. Observaciones

Se observó daños en la planta, como en las tapas del tanque de almacenamiento la cual esta despegada y no está cumpliendo la función principal que nada pueda ser introducido en el tanque de almacenamiento y el agua sea contaminada, se observaron hongos en las paredes de concreto, así como daños en la tapia, la cual permite el ingreso de personas particulares a la planta sin el consentimiento de la entidad encargada.

3.4.2 Diagnóstico Preliminar

En el diagnóstico preliminar se tiene como prioridad evaluar las cámaras de contacto que regulan el pH, se requiere evaluar el floculador y los filtros que estén removiendo el excedente de aluminio que no se precipitó, así como que el lavado se esté realizando correctamente y que el tiempo de lavado sea el correcto.

3.5.1. Evaluación del proceso de coagulación.

3.5.2. Manejo y almacenamiento de sustancias químicas

En la planta potabilizadora de Zagala Vieja, el manejo de las sustancias utilizadas en la planta es el correcto, así también el almacenamiento, cuenta con la casetilla de almacenamiento bien rotulada y los dispositivos de seguridad necesarios para manejar los reactivos.

El principal reactivo que se almacena es la soda cáustica al 50 %, la cual se encarga de la remoción del aluminio.

3.5.3. Dosificación de sustancias químicas

El coagulante más efectivo es la soda cáustica al 50 %

El pH óptimo de coagulación 6.5

El modificador de pH más efectivo la piedra caliza

La concentración óptima del coagulante seleccionado es al 50 %

La secuencia de aplicación de sustancias químicas es en dependencia del pH

3.6.1. Evaluación de mezcladores

En la planta evaluada el mezclador es el mismo floculador ascendente, cumple con la función de mezclar la soda cáustica al 50 %, se realizará una evaluación hidráulica en la unidad.

3.7.1. Tiempos de retención teóricos

Se procedió a calcular el tiempo de retención teórico de la tubería de las cámaras de contacto a la planta potabilizadora, en la planta se obtuvieron los tiempos de retención teóricos del floculador ascendente, tanque pulmón y los filtros, debido a que los datos se necesitaran posteriormente, con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{V}{Q \times 60}$$

Donde:

V = volumen del tanque (litros)

q = caudal del agua para solución (L/s)

To = tiempo de retención (minutos)

3.7.2. Tubería de cámaras de contacto a planta Tramo A-B

Tubería: 50 mm (2 pulg)

Longitud: 520 m

Diámetro de tubería: 0.05m

Radio de tubería: 0.025m

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \times 0.025^2$$

$$A = 0.0019 \text{ m}^2$$

$$V = A \times L$$

$$V = 0.0019 \times 520$$

$$V = 0.98 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q \times 60}$$

$$t_o = \frac{980 \text{ L}}{3 \text{ L/s} \times 60}$$

$$t_o = 5.44 \text{ min}$$

Tramo B-C

Tubería: 63 mm (2.5 pulg)

Longitud: 342 m

Diámetro de tubería: 0.063m

Radio de tubería: 0.031m

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \times 0.031^2$$

$$A = 0.0030 \text{ m}^2$$

$$V = 0.0030 \times 342$$

$$V = 1.026 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{1026 \text{ L}}{3 \text{ L/s} \times 60}$$

$$t_o = 5.7 \text{ min}$$

Tiempo total de retención de tubería

$$5.7 + 5.4 = 11.1 \text{ min}$$

$$t_o = 11.1 \text{ min}$$

Tiempo teórico de retención.

Se procedió a calcular el tiempo de retención teórico del floculador, con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{V}{Q \times 60}$$

Donde:

V = volumen del tanque (litros)

q = caudal del agua para solución (L/s)

To = tiempo de retención (minutos)

3.7.3. Tiempo de retención teórico del floculador

Tabla 1 Dimensiones del floculador

Dimensiones del floculador con dimensiones tomados en campo

A	2.27 m
L	5 m
H	2.22 m
V arena	40 %

Fuente: Propia

Donde

A= Ancho

L= Largo

H= Altura

$$V = A * L * H$$

$$V = 2.27 * 5 * 2.22$$

$$V = 25.19$$

$$V_{final} = 25.19 * 40 \%$$

$$V_{final} = 10.072 \text{ m}^2$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{10072}{0.003}$$

$$t = 55.7 \text{ min}$$

3.7.4. Tiempo de retención en el tanque de carga

V: 6 m³

$$t_o = \frac{V}{Q \times 60}$$

$$t_o = \frac{6000L}{3L/s \times 60}$$

$$t_o = 33.33 \text{ min}$$

3.7.5. Tiempo de retención en los filtros

V: 1.7 m³

$$t_o = \frac{V}{Q \times 60}$$

$$t_o = \frac{1700}{1 \times 60}$$

$$t_o = 28.33 \text{ min}$$

$$t_o = 30 \text{ min}$$

3.8.1. Ensayo de trazadores

La sustancia trazadora utilizada en el ensayo fue la sal pura donde se realizó una salmuera (sal diluida en agua) la cual se vertió en la cámara de contacto #2 ya que es la entrada de agua a la planta.

Cálculo de cantidad de trazador

Se realizó por dosificación instantánea,

$$P = \frac{V \times k \times C_o}{l \times 10^3}$$

Donde:

P = peso del trazador por añadir, al reactor, kg

V = volumen útil del reactor, m^3

K = constante de corrección

C_0 = concentración, mg/L o g/m^3

L = grado de pureza del trazador, fracción de la unidad

$$P = \frac{\text{peso del NaCl}}{\text{peso Cl}}$$

$$k = \frac{23 + 35.5}{35.5} = 1.65$$

V de floculador = $10.072 m^3$

V de tanque de carga = $6 m^3$

V de filtros = $1.7 m^3$

$V_T = 10.072 + 6 + 1.7$

$V_T = 17.77 m^3$

$$P = \frac{17.77 \times 1.65 \times 50}{0.6 \times 10^3}$$

$P = 4.50 kg$

$P = 5 kg$

3.9.1. Evaluación de floculadores

3.9.2. Unidades hidráulicas

Esta evaluación se realiza a una unidad la cual es de flujo ascendente donde se va a determinar, que esté funcionando de forma adecuada.

3.9.3. Caudal de operación

El caudal en que la planta opera normalmente esta entre 3 L/s a 3.5 L/s al momento de realizar los ensayos el caudal obtenido fue de 3 L/s al tener una unidad se puede decir que es el caudal de operación de toda la planta, realizando la prueba de trazadores se da a conocer el comportamiento hidráulico del floculador.

El 100 % del trazador pasa por el floculador esto debido a que la planta solo cuenta con uno.

3.9.4. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad

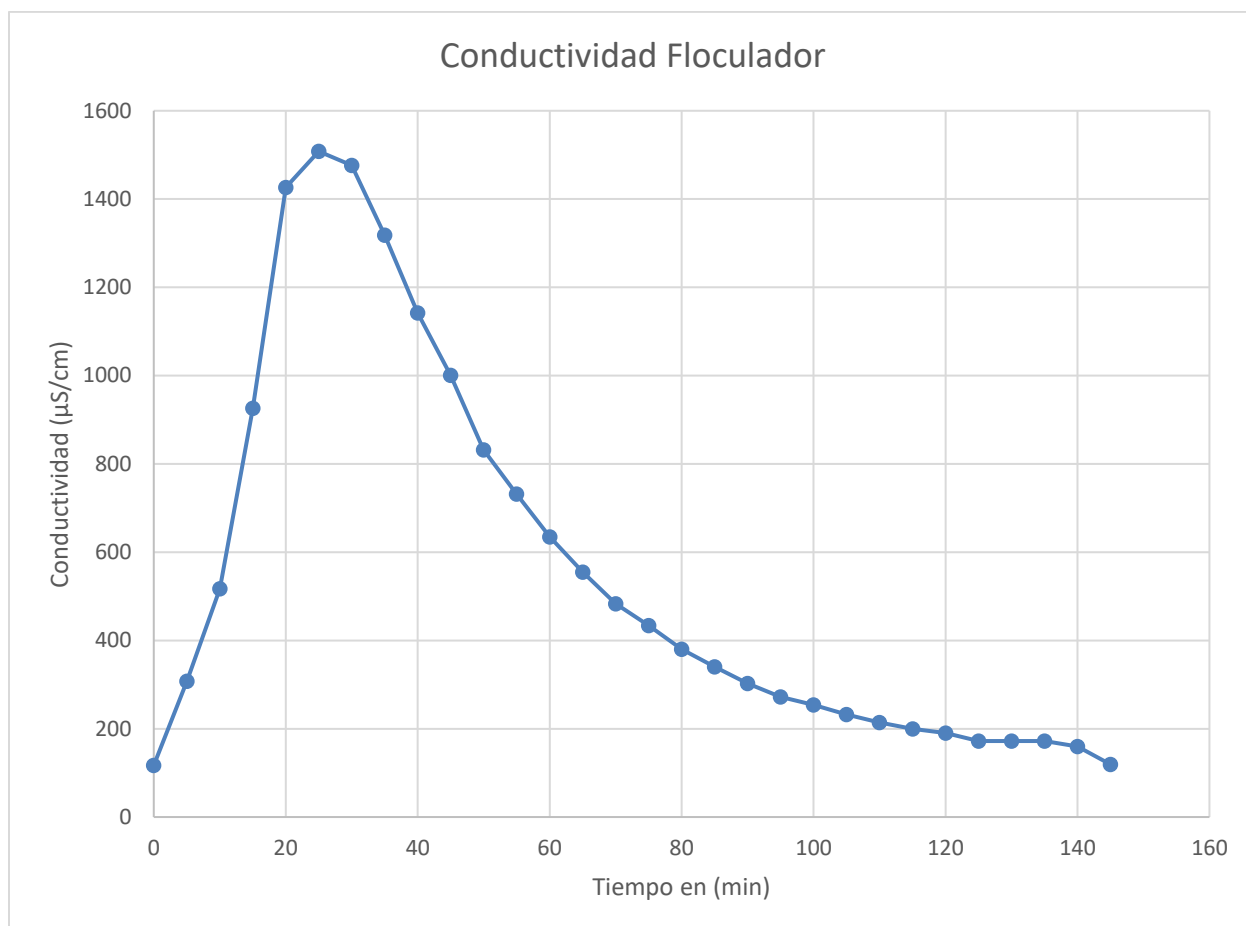
Realizando el ensayo de trazadores se puede obtener el tiempo real de retención, así como las características de la unidad, el primer paso realizado fue verter la salmuera (sustancia trazadora) en las cámaras de contacto de forma instantánea, con los tiempos de retención teóricos se obtuvo una estimación del tiempo en el que el trazador llegaba a la planta, donde 10 minutos antes del tiempo estimado de llegada se empezaron a tomar medidas de conductividad para detectar la sustancia trazadora.

Al pasar 20 minutos se detectó el trazador en la salida del floculador ascendente, se empezó a tomar muestras cada 5 min, a la salida del floculador ascendente, durante 2 horas 25min, obteniendo un total de 30 muestras, al finalizar la toma de muestras se procedió a tomar la conductividad de cada una de las muestras tomadas, esto por medio de un conductímetro digital el cual lo proporcionó el AyA.

Los siguientes son los datos obtenidos de la prueba de trazadores, con los cuales se procedió a graficarlos y obtener la curva de Gauss.

Datos del ensayo de trazadores

Gráfico 7 Conductividad del floculador



Fuente: Propia

De la curva de Gauss se obtuvo el tiempo real de retención, utilizando Excel y Autocad para obtener el centroide, donde el tiempo real de retención es 53 min.

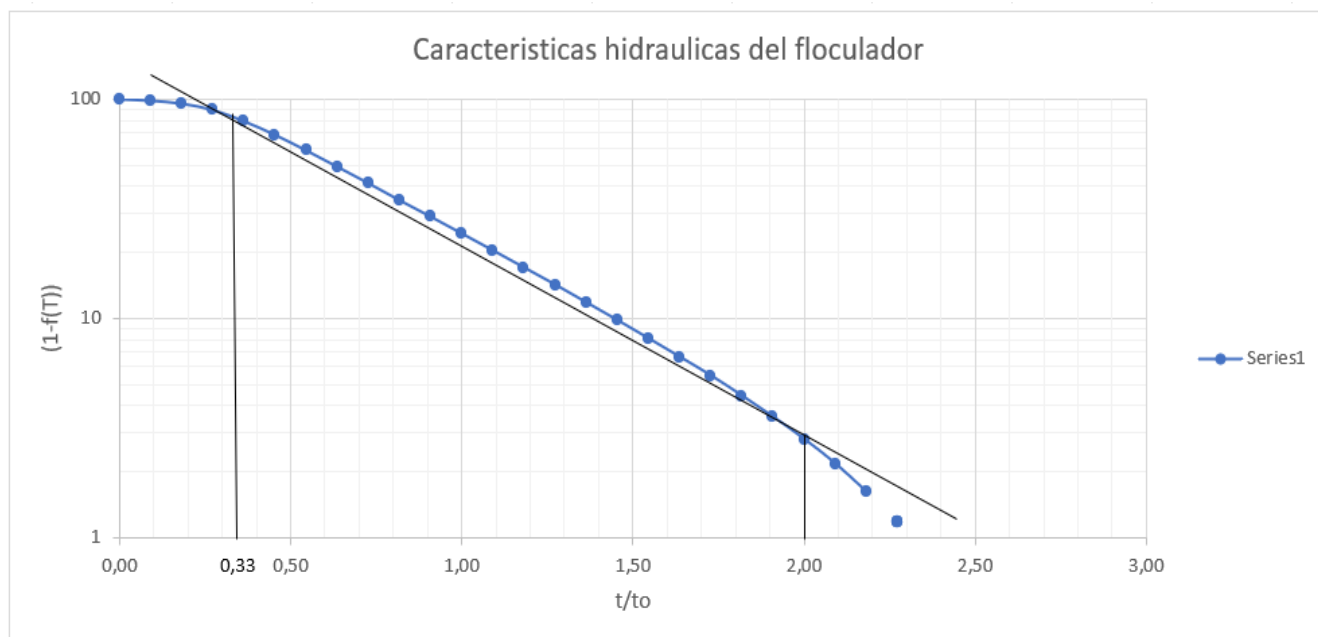
Luego se procedió a determinar las características hidráulicas utilizando el método matemático de la línea de tendencia.

Tabla 2 Tiempos de retención

Tiempo real		Tiempo teórico	
Floculador	53 min	Floculador	55.7 min

Fuente: Propia

Gráfico 8 Características hidráulicas del floculador



Fuente: Propia

Resultados del análisis de la curva de concentración del trazador en el efluente del floculador ascendente.

Análisis por el método de Wolf-Resnick

$$\frac{t1}{to} = 0.33$$

$$\phi = 0.33$$

$$\frac{t2}{to} = 2$$

Aplicando los datos anteriores a la siguiente ecuación

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t2}{to} - \frac{t1}{to}}$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{2 - 0.33}$$

$$\tan \alpha = 0.59$$

Para calcular el flujo pistón se utiliza la siguiente fórmula

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.453 + \theta \tan \alpha}$$

$$p = \frac{0.33 \times 0.59}{0.453 + 0.33 \times 0.59} = 0.26 \%$$

$$P = 26 \%$$

Utilizando la siguiente ecuación se determinará el porcentaje de espacios muertos

$$m = 1 - \frac{\theta}{P}$$

$$m = 1 - \frac{0.33}{0.26} = 0.0$$

$$m = 0 \%$$

El flujo mezclado se calcula por la siguiente ecuación.

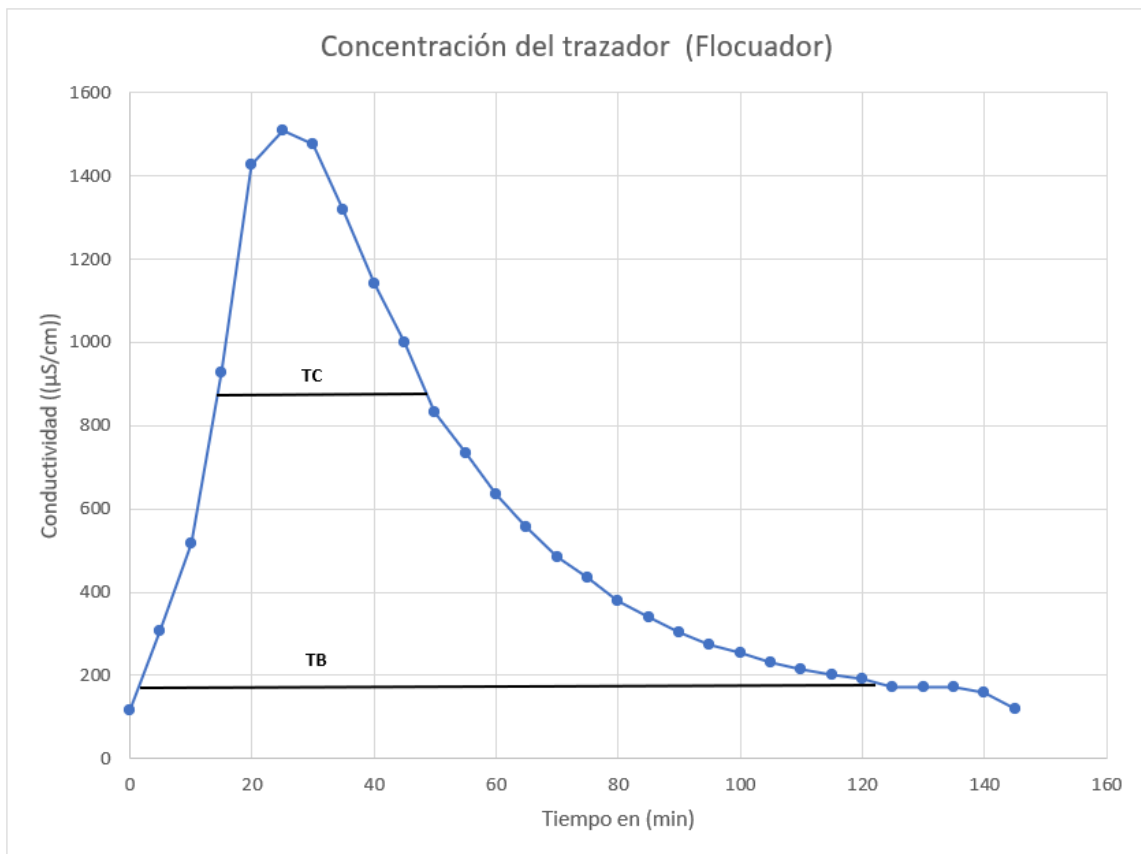
$$M = 1 - P$$

$$M = 1 - 0.26 = 0.74$$

$$M = 74 \%$$

Se procedió a obtener la concentración del trazador

Gráfico 9 Concentración del trazador (Flocuador).



Fuente: Propia.

Tabla 3 Significados de variables

Variable	Significado
To	Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
Ti	Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
Tp	Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.
Tf	Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor
tc	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/2$
tb	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/10$
T50=tm	Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50 % de la cantidad del trazador.

Fuente: Manual de evaluaciones de plantas potabilizadoras

Tabla 4 Tiempos del floculador

Tiempos (min)	To	ti	Tp	tf	Tc	Tb	t50
Floculador	55	20	25	125	12.5	150.8	53

Fuente: Propia

Resultados del análisis de la curva de concentración del trazador en el efluente del floculador ascendente.

Tabla 5 Comportamiento hidráulico del floculador ascendente

Criterio	Consecuencia
$\frac{t1}{to} = 0.4 < 0.3$	No hay corto circuito hidráulico
$\frac{t50}{to} = \frac{53}{55} = 0.96 > 1$	Se aproxima a flujo mezclado
$\frac{tp}{to} = \frac{25}{55} = 0.45$	Existe predominio de flujo mezclado
$\frac{tc}{to} = \frac{12.5}{55} = 0.227$	Flujo pistón
$\frac{tb}{to} = \frac{150.8}{55} = 2.74$	Flujo mezclado
$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to} =$	Tiende a flujo mezclado
$e = \frac{(125 - 25) - (25 - 20)}{55} = 1.72$	

Fuente: Propia

Tabla 6 Comportamiento hidráulico del floculador ascendente

Comportamiento hidráulico del floculador ascendente	
Comportamiento	Porcentaje
Flujo pistón	26 %
Espacio muerto	0 %
Flujo mezclado	74 %

Fuente: Propia

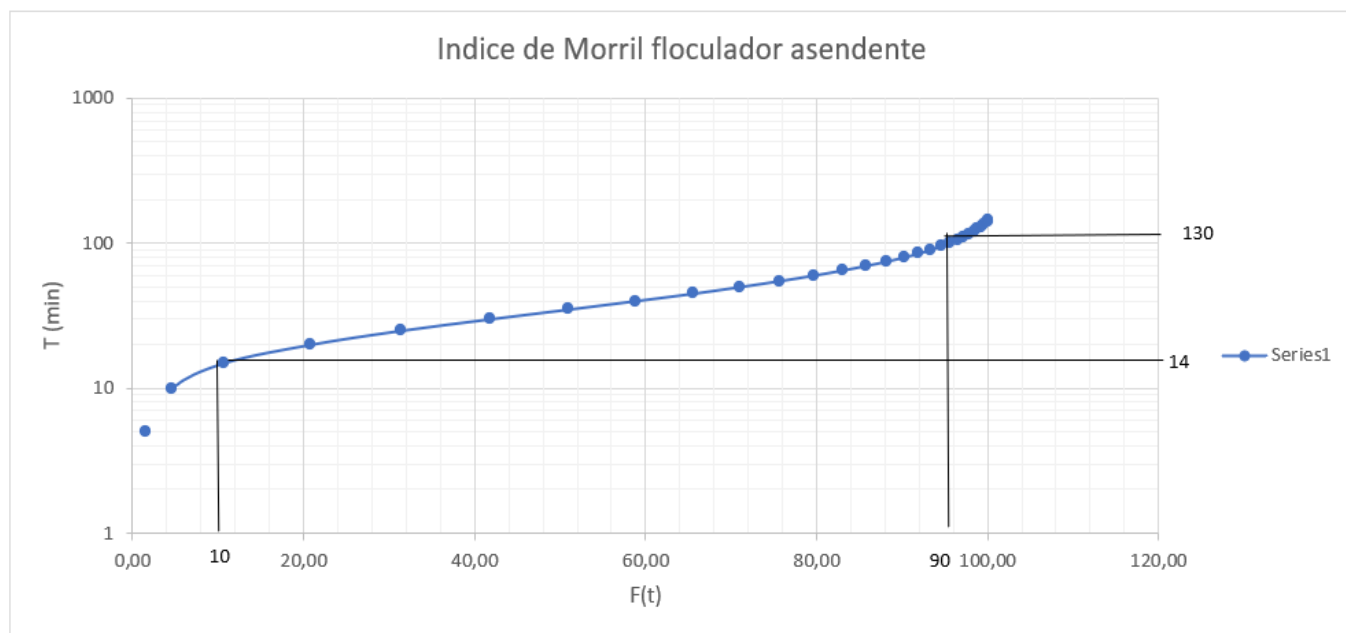
Analizando los resultados obtenidos en la tabla 8 se puede conocer que la unidad presenta un comportamiento hidráulico dual, con una predominancia de flujo mezclado y también tiene flujo pistón, no presenta cortos circuitos hidráulicos, lo cual indica que

tiene un buen comportamiento hidráulico, el tiempo teórico y el tiempo de retención tiene una diferencia de 2 minutos, por ende, son muy similares.

3.9.6. Índice de Morrill

Para determinar el índice de Morrill se procedió a graficar el tiempo y el porcentaje de trazador pasando, del gráfico 1.1 se obtuvo el 10 % del área y el 90 % del área determinando así t_{10} y t_{90} .

Gráfico 10 Índice de Morrill floculador ascendente



Fuente: Propia

$$t_{90} = 130$$

$$t_{10} = 14$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}} = \frac{130}{14} = 9.28$$

Según los resultados obtenidos en el índice de Morrill predomina flujo mezclado.

3.9.7. Unidades de floculación hidráulica

Este ensayo no se pudo realizar debido al tipo de floculador que es, no se pueden tomar los datos necesarios.

3.9.8. Tiempo de formación inicial del flóculo

El ensayo de tiempo de forma inicial del flóculo no es posible realizarlo, debido a que la principal función de la planta es la corrección de pH y remoción de aluminio se forma un microfloc como resultado de la reacción química el cual acumula en la superficie del floculador.

3.9.9. Tamaño del flóculo producido

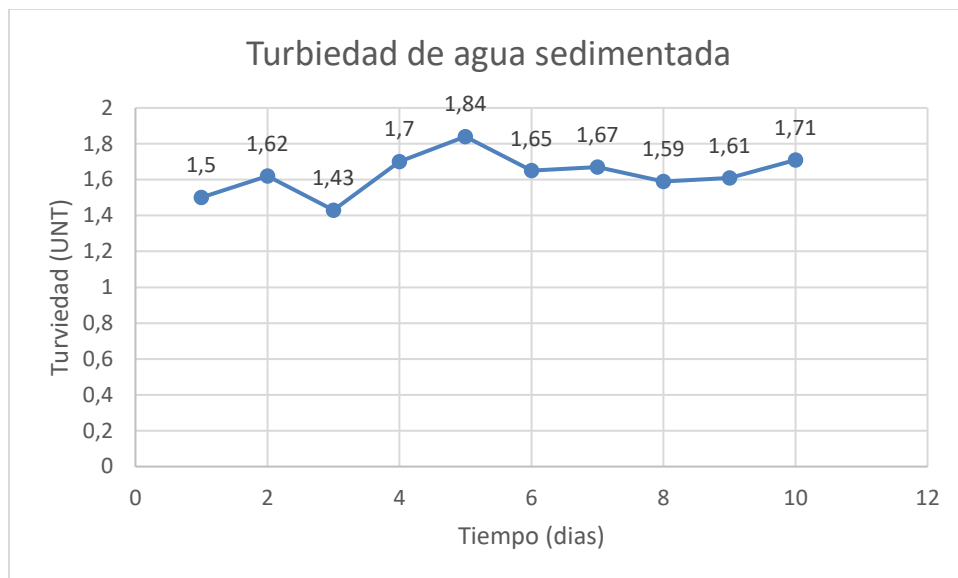
El ensayo de tamaño del flóculo producido no se pudo realizar debido a que la principal función de la planta es la corrección de pH y remoción de aluminio, donde al agregar la soda cáustica al 50 % sucede una reacción química que causa que el aluminio se precipite, las partículas de aluminio precipitadas son de tamaños muy pequeños.

3.10.1. Evaluación de sedimentadores

La evaluación de sedimentadores no se va a realizar debido a que, en la planta potabilizadora de Zagala Vieja, tiene un floculador sedimentador, este cumple con las dos funciones en un mismo proceso, se evaluara únicamente la eficiencia de la calidad del agua sedimentada ya que en este ensayo sí se puede realizar y es de gran importancia para la evaluación.

3.10.2. Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada

La eficiencia del agua precipitada, esto debido a la característica de la planta en el siguiente gráfico se puede observar que la turbiedad del agua sedimentada es menor 1.90 UNT, lo cual indica que favorece al funcionamiento de los filtros.



Fuente: Propia

3.11.1. Evaluación de filtros

3.11.2. Estudio de caso

Se procedió a realizar la prueba de trazadores para determinar la conductividad en la salida de los filtros, de esta forma obtener los datos necesarios para poder evaluar la hidráulica de los filtros.

3.11.3. Características del proceso de filtración

La planta potabilizadora de Zagala Vieja tiene la particularidad de tener 3 filtros presurizados, se puede decir que la planta es de filtración rápida, esto por las características de calidad del agua que trata ya que el agua es de naciente, con problemas de pH y aluminio.

3.11.4. Tiempo real de retención y características hidráulicas de los filtros presurizados

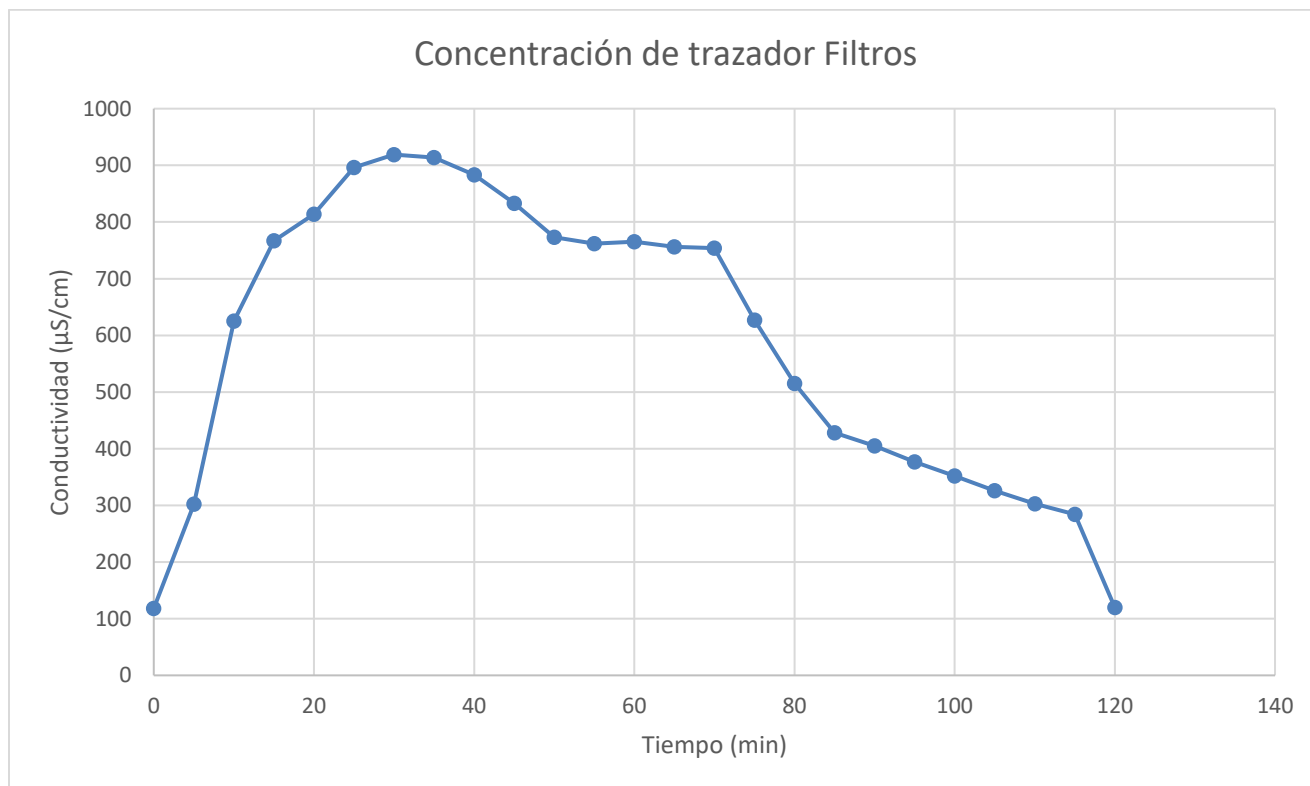
Realizando la prueba de trazadores en los filtros presurizados, se determinaron los tiempos de retención y las características hidráulicas de la unidad. Se procedió a determinar la cantidad de trazador, para toda la plantan ya que se vertió directamente en las cámaras de contacto.

Luego se tomó el tiempo desde que se vertió el trazador hasta que llegó a la unidad de filtros, donde se tenía un tiempo de retención teórico. Al detectar el trazador en la unidad, se inició a tomar muestras cada 5 min tomando un total de 24 muestras, donde fue el tiempo desde que se detectó el trazador hasta que pasó por completo la unidad, al finalizar la toma de muestras se procedió a tomar la conductividad de cada una de las muestras tomadas, esto por medio de

un conductímetro digital, el cual lo proporcionó el AyA.

Los siguientes datos son los obtenidos en el ensayo de trazadores realizado a los filtros, donde se procedió a graficarlos y realizar la curva de Gauss.

Gráfico 12 Concentración de trazadores filtros



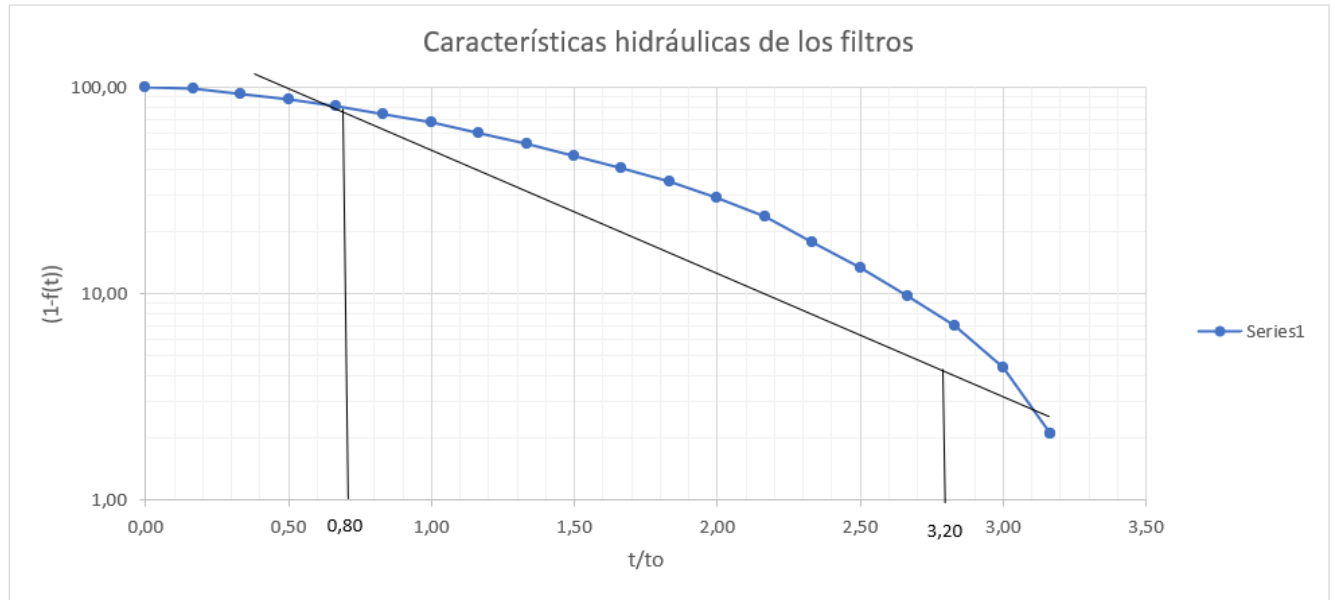
Fuente: Propia

Para determinar el tiempo real de retención se procedió a obtener el centroide de la campana de Gauss el cual fue 54 minutos, se determinó con ayuda de Excel y Autocad.

Tabla 7 Tiempos de retención en los filtros

Tiempo real		Tiempo teórico	
Filtros	54 min	Filtros	30 min

Gráfico 13 Características hidráulicas de los filtros



Fuente: propia

De acuerdo con el gráfico 1.1 se obtiene $t1/to$ y $t2/to$ por medio de las intersecciones que tiene la línea de tendencia con la curva, obteniendo así los siguientes datos:

$$\frac{t1}{to} = 0.80$$

$$\frac{t2}{to} = 3.20$$

Análisis por el método de Wolf-Resnick

$$\frac{t1}{to} = 0.80$$

$$\phi = 0.80$$

$$\frac{t2}{to} = 3.20$$

Aplicando los datos anteriores a la siguiente ecuación

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t2}{to} - \frac{t1}{to}}$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{3.20 - 0.80}$$

$$\tan \alpha = 0.4166$$

Para calcular el flujo pistón se utiliza la siguiente fórmula

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.453 + \theta \tan \alpha}$$

$$p = \frac{0.80 \times 0.41}{0.453 + 0.80 \times 0.41} = 0.423 \%$$

$$P = 42.3 \%$$

Utilizando la siguiente ecuación se determinará el porcentaje de espacios muertos

$$m = 1 - \frac{\theta}{P}$$

$$m = 1 - \frac{0.80}{0.423} = 0.0$$

$$m = 0 \%$$

El flujo mezclado se calcula por la siguiente ecuación.

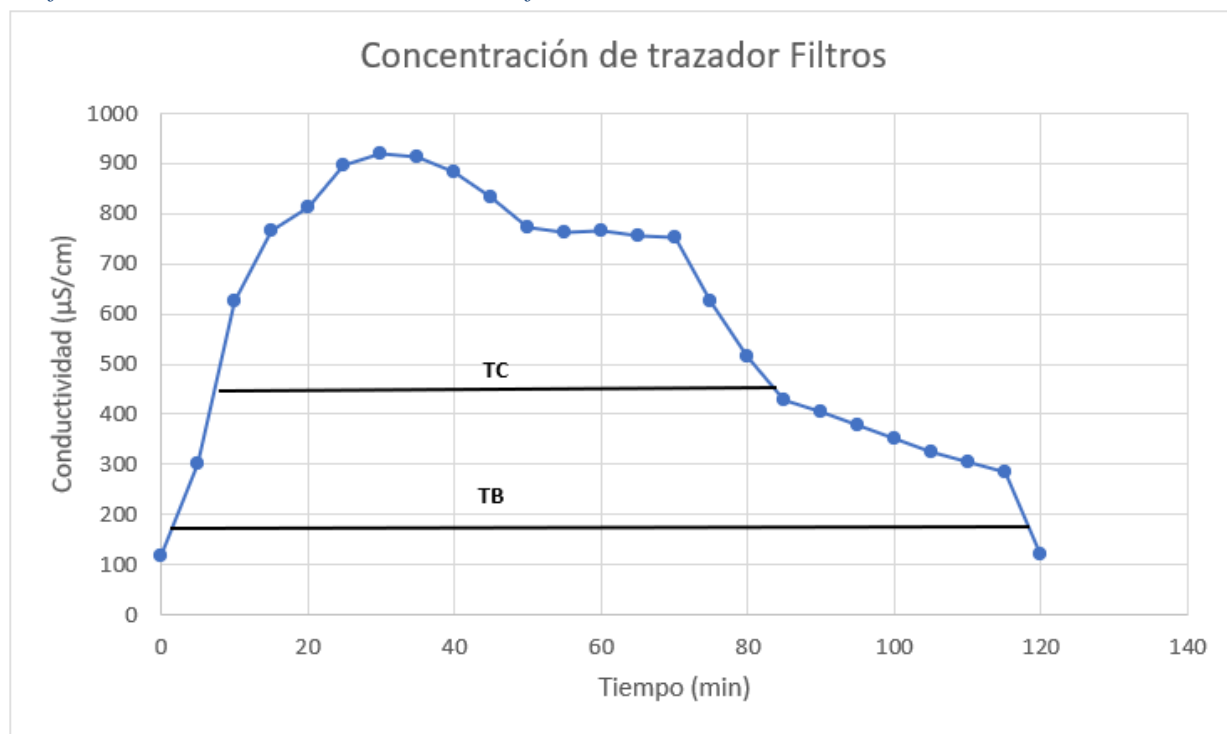
$$M = 1 - P$$

$$M = 1 - 0.423 = 0.581$$

$$M = 57.61 \%$$

Se procedió a obtener la concentración del trazador.

Gráfico 14 Concentración de trazadores filtros



Fuente: propia

Tabla 8 Significado de variables

Variable	Significado
To	Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
Ti	Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
Tp	Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.
Tf	Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor
Tc	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/2$
Tb	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/10$
T50=tm	Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50 % de la cantidad del trazador.

Fuente: Manual de plantas potabilizadoras

Tabla 9 Tiempos del filtro

Tiempos (min)	To	ti	Tp	tf	Tc	Tb	t50
Floculador	30	50	30	120	15	91.6	54

Fuente: propia

Resultados del análisis de la curva de concentración del trazador en el efluente de los tres filtros presurizados ascendente.

Tabla 10 Características hidráulicas de los filtros

Criterio	Consecuencia
$\frac{t1}{to} = 0.80 > 0.3$	No hay evidencia de cortos circuitos
$\frac{t50}{to} = \frac{54}{30} = 1.8 > 1$	Existencia de espacios muertos donde el trazador se queda retenido
$\frac{tp}{to} = \frac{30}{30} = 1$	Existe únicamente flujo pistón
$\frac{tc}{to} = \frac{15}{30} = 0.5$	Flujo mezclado
$\frac{tb}{to} = \frac{91.9}{30} = 3.06$	Flujo mezclado
$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to} =$ $e = \frac{(120 - 30) - (30 - 50)}{30} = 3.66$ > 2.3	Existencia de flujo mezclado

Fuente: propia

Tabla 11 Comportamiento hidráulico de los filtros

Comportamiento hidráulico de los filtros	
Comportamiento	Porcentaje
Flujo pistón	42.39 %
Espacio muerto	0 %
Flujo mezclado	57.61 %

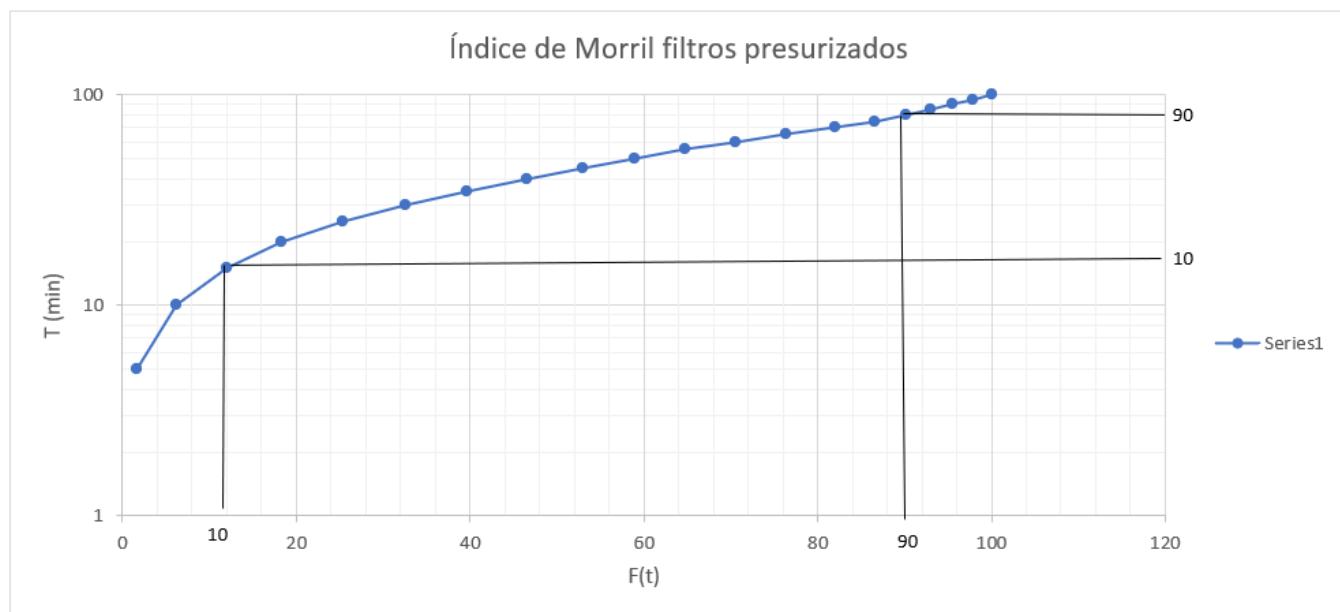
Fuente: propia

El comportamiento hidráulico de los filtros presurizados obtenido, el mostrado en la tabla 15 es dual ya que presenta flujo pistón y flujo mezclado con mayor predominancia, además se determinó la existencia de espacios muertos por ende el tiempo real de retención y el tiempo teórico tienen una diferencia considerable.

3.11.5. Índice de Morrill

Para determinar el índice de Morrill se procedió a graficar el tiempo y el porcentaje de trazador pasando, del grafico 15 se obtuvo el 10 % del área y el 90 % del área determinando así t10 y t90.

Gráfico 15 Índice de Morril filtros



Fuente: propia

$$t_{90} = 90$$

$$t_{10} = 10$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}} = \frac{90}{10} = 9$$

Según lo visto en el índice de Morril predomina flujo mezclado.

3.11.6. Velocidad y caudal de filtración

Los filtros actualmente tienen una velocidad de filtrado máxima por unidad de $360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, h, la batería de los filtros está diseñada para procesar 3.5 L/s el cual es el caudal de diseño toda la planta.

Velocidad y caudal de filtración

$V_{f\text{máx}}$ ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$): Velocidad de filtración.

$q_{\text{máx}}$ (m^3/d): Caudal máximo

A_f (m^2): Área filtrante de cada unidad

$$q_{\text{máx}} (\text{m}^3/\text{d}) = 86.4 (\text{m}^3/\text{d})$$

$$A_f (\text{m}^2) = 0.24 \text{ m}^2$$

$$V_{f\text{máx}} (\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}) = q_{\text{máx}} (\text{m}^3/\text{d})/A_f (\text{m}^2)$$

$$V_{f\text{max}} (\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}) = 86.4 \text{ m}^3/\text{d}/0.24 \text{ m}^2$$

$$V_{fmax} = 360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

V_f prom.: Velocidad de filtración promedio.

Q: caudal de la batería de filtros.

Área filtrante total (m^2): Área de cada filtro (m^2) x número de filtros

$$\text{Área filtrante total } (\text{m}^2) = A_t$$

$$A_t = 0.24 (\text{m}^2) \times 3$$

$$A_t = 0.84 \text{ m}^2$$

$$Q = 86.4 (\text{m}^3/\text{d}) \times 3$$

$$Q = 259.2 (\text{m}^3/\text{d})$$

$$V_f \text{ prom.} = Q/A_t$$

$$V_f \text{ prom.} = Q/A_t$$

$$V_f \text{ prom.} = 259.2 (\text{m}^3/\text{d}) / 0.84 (\text{m}^2)$$

$$V_f \text{ prom.} = 308.57 (\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}).$$

Comprobar la relación = $V_{fmax} / V_{fprom} =$

$$\text{Comprobar la relación} = 360 / 308.57 = 1.16$$

El manual de evaluación de plantas potabilizadoras indica que si la relación es mayor a 1.5, la calidad del agua producida por el filtro recién lavado se podría estar deteriorando.

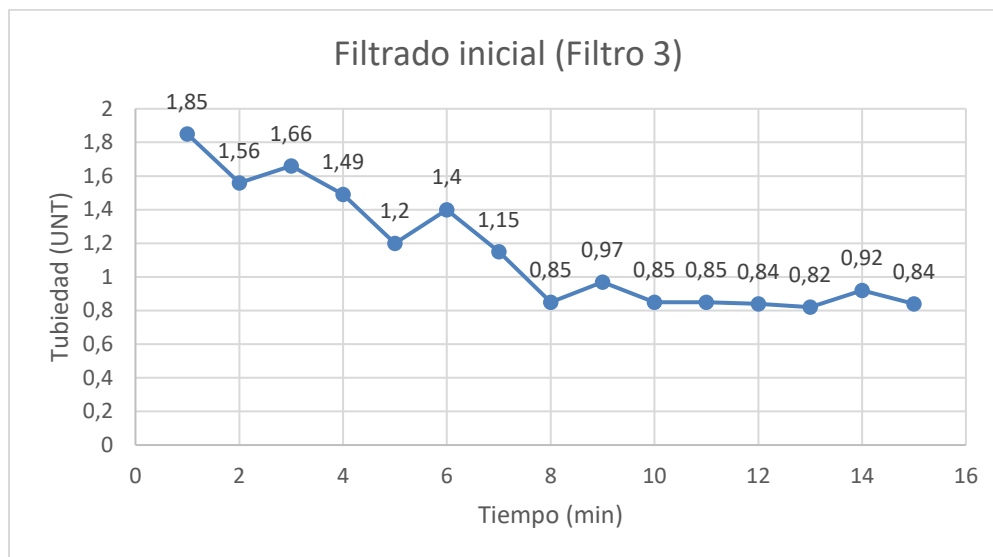
Comprobando la relación de los filtros de la planta potabilizadora de Zagala, es de 1.16 y según lo indicado por el manual los filtros están en buen estado.

3.11.7. Calidad del filtrado inicial

El manual de evaluación de plantas potabilizadoras, indica que el filtrado que se realiza después del lavado de los filtros, contiene una turbiedad más alta que la de las carreras de los filtros, esto debido a que quedan partículas de turbiedad en los filtros después del lavado, con la calidad del filtrado inicial se puede evaluar que el lavado de los filtros se esté realizando correctamente, en la planta evaluada se realizaron 2 ensayos calidad de filtrado inicial, se realizó una al filtro 3 por un tiempo de 15 min (Ensayo 1) y se lavaron los 3 filtros con un tiempo de 10 min (ensayo 2).

Ensayo 1 de calidad de filtrado inicial

Gráfico 16 filtrado inicial (filtro3)

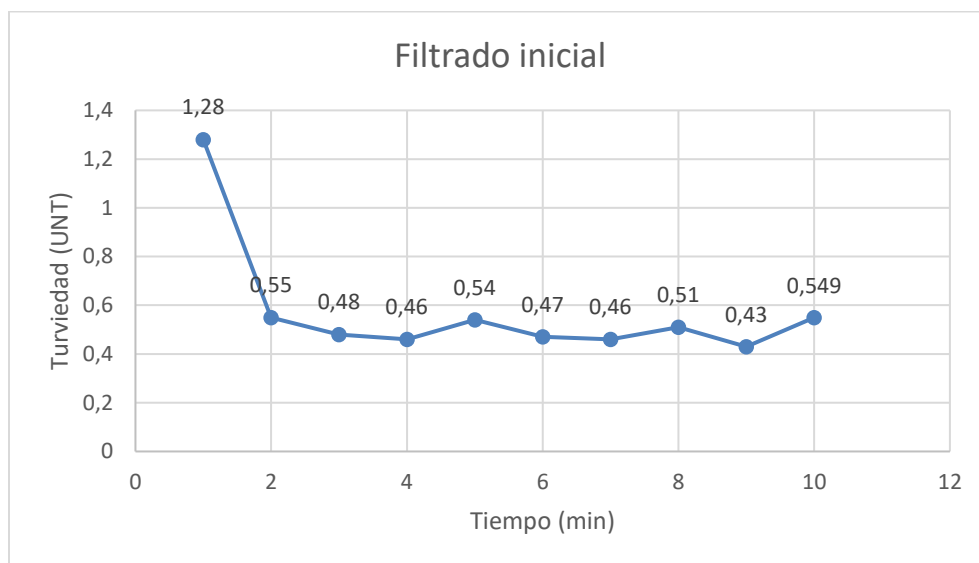


Fuente: Propia

Analizando el ensayo 1 la calidad del filtrado del filtro 3 se obtuvieron turbiedades de 1.85 UNT al minuto y fueron descendiendo hasta llegar a una turbiedad de 0.84 UNT a los 15 min, en la gráfica realizada se puede observar como la curva de turbiedad va descendiendo y los niveles de turbiedad se van estabilizando, esto indica que el lavado de los filtros se está haciendo bien, la turbiedad de 0.84 UNT es buena y cumple con lo normado.

Ensayo 2 de calidad de filtrado inicial

Gráfico 17 Filtrado inicial (filtro 1,2,3)



Fuente: Propia

Mediante el ensayo 2 de calidad de filtrado inicial que se realizó a los filtros 1, 2, 3 se obtuvieron turbiedades de 1.28 UNT al minuto y fueron descendiendo hasta llegar a una turbiedad de 0.54 UNT a los 10 min, se puede observar la curva de turbiedad que va descendiendo, esto indica que los niveles de turbiedad del filtrado inicial están bien y que el lavado de los filtros se está realizando correctamente, cabe destacar que al realizar el ensayo 2 a los filtros se les estaba realizando el lavado de día por medio como lo especifica la planta.

3.11.8. Duración de carreras de los filtros

El ensayo de duración de carreras de los filtros no fue posible realizarlo debido a que el tiempo que se requiere para poder realizarlo.

3.11.9. Características del sistema de lavado

El sistema de lavado es de forma manual se necesita un operador que esté realizando los lavados como lo especifica el manual de la planta, mediante la manipulación de válvulas.

3.11.10. Expansión del medio filtrante

El ensayo de expansión del medio filtrante no se pudo realizar debido a que los filtros son presurizados.

3.11.11. Duración del proceso de lavado

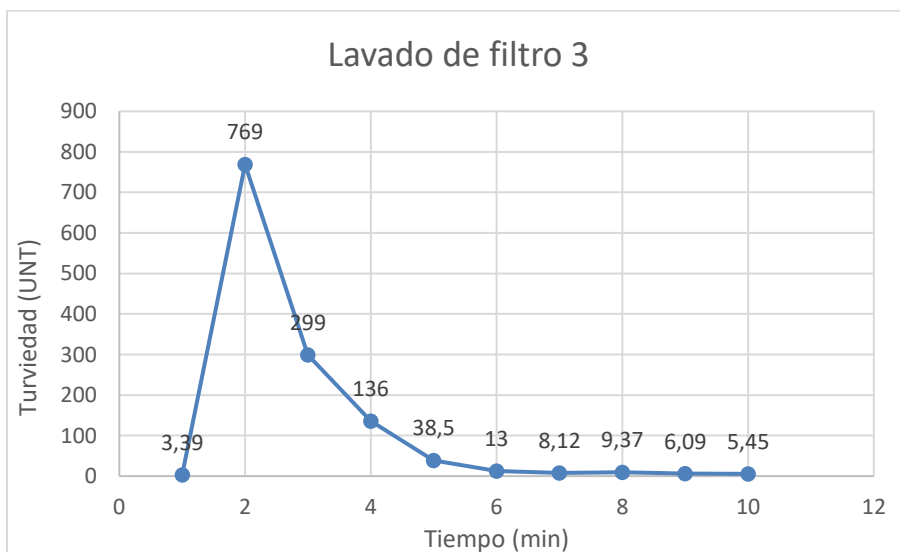
Con este ensayo se logró determinar el tiempo óptimo de lavado de los filtros, ya que, si los filtros se dejan lavando mucho tiempo, el lecho filtrante se puede dañar con el tiempo y se estaría desperdiciando agua, en la planta evaluada al suministrarse el agua cruda de nacientes y tener la toma subterránea y protegida, la turbiedad no va a tener variaciones considerables en el año, la turbiedad en épocas lluviosa y seca no se va a ver afectada.

La teoría del manual de evaluación de plantas potabilizadoras indica que el tiempo óptimo de lavado se obtiene cuando la curva tiende a ser asintótica con el eje horizontal, como parámetro para la turbiedad indica que en el punto de inflexión donde la curva tiende a ser asintótica no debe ser mayor a 5 UNT.

Se realizó el ensayo de duración del proceso de lavado donde se realizó al filtro 3 con un tiempo de 10 min (ensayo 1) y se realizó el lavado a los filtros 1, 2, 3 con un tiempo de 7 min (ensayo 2).

Ensayo 1, Filtro 3

Gráfico 18 Lavado de filtro 3



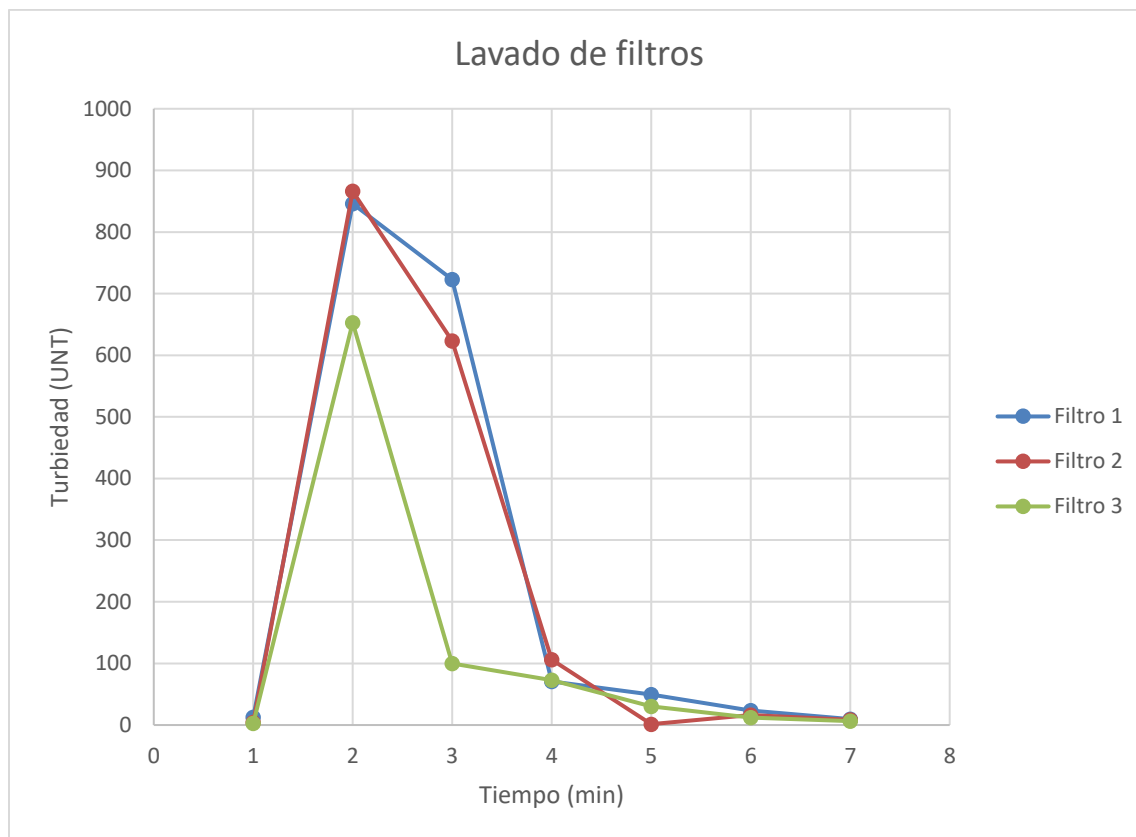
Fuente: propia

En el ensayo 1 realizado al filtro 3 a un tiempo de 10 min, donde al minuto se obtuvieron turbiedades de 3.39 UNT, al minuto 2 tiene el punto más alto de turbiedad 769 UNT y empieza a descender hasta obtener una turbiedad de 5.45 UNT a los 10 min, en la gráfica de turbiedad vs tiempo se puede observar el comportamiento del lavado del filtro, en esta prueba el filtro

tenía un tiempo considerable de no lavarse.

Ensayo 2

Gráfico 19 lavado de filtros 1,2,3



Fuente: propia

Se realizó el ensayo 2 del lavado de los filtros 1, 2 y 3, este se realizó a con un tiempo de 7 min, donde se obtuvieron turbiedades de 9.64 UNT en el filtro 1, 8.34 UNT en el filtro 2 y de 6.33 UNT en el filtro 3. Se puede observar que en el gráfico donde al llegar al punto más alto de turbiedad la curva empieza a descender considerablemente, se puede notar en el gráfico que los filtros 1 y 2 tienen niveles de turbiedad más altos que el filtro 3.

Se determina que el tiempo óptimo de lavado es el del ensayo 2, esto observando la gráfica ya que tiene el punto de inflexión al minuto 5, pero alcanza una turbiedad cercana a 5 UNT a los 7 min, por ende, se determina como tiempo óptimo a los 7 min.

3.11.12. Características del medio filtrante

En las características del medio filtrante se tiene que son 3 unidades de filtros presurizados, cilindros de eje vertical de 600 mm (24 pulg) de diámetro x 1,8 m (72 pulg) de altura cilíndrica, las bases de estos tanques son fondos semiesféricos tipo klopper. En el interior cada tanque se le colocó un soporte de grava de 1.2 mm a 3 mm de diámetro y 10 cm de espesor, luego una capa de 60 cm de espesor de antracita (0.8 mm a 1.10 mm) y por último una capa de arena sílica (0.6 mm a 0.85 mm) con 60 cm de espesor, la batería de filtros tiene válvulas de aire en la parte superior.

3.11.13. Granulometría del medio filtrante

El ensayo de granulometría del medio filtrante no se pudo realizar debido a que los filtros son presurizados y abrirlos requiere sacar la planta de operación por un tiempo considerable y personal especializado.

3.11.14. Estado del medio filtrante

Este ensayo no fue posible realizarlo por la misma razón del ensayo anterior, sin embargo, en el lavado de los filtros se observó que en el agua de lavado se estaban encontrando residuos de antracita, siendo parte del medio filtrante, lo cual no debe de estar sucediendo ya que al perder material los filtros pierden su funcionalidad.

3.11.15. Espesor del medio filtrante

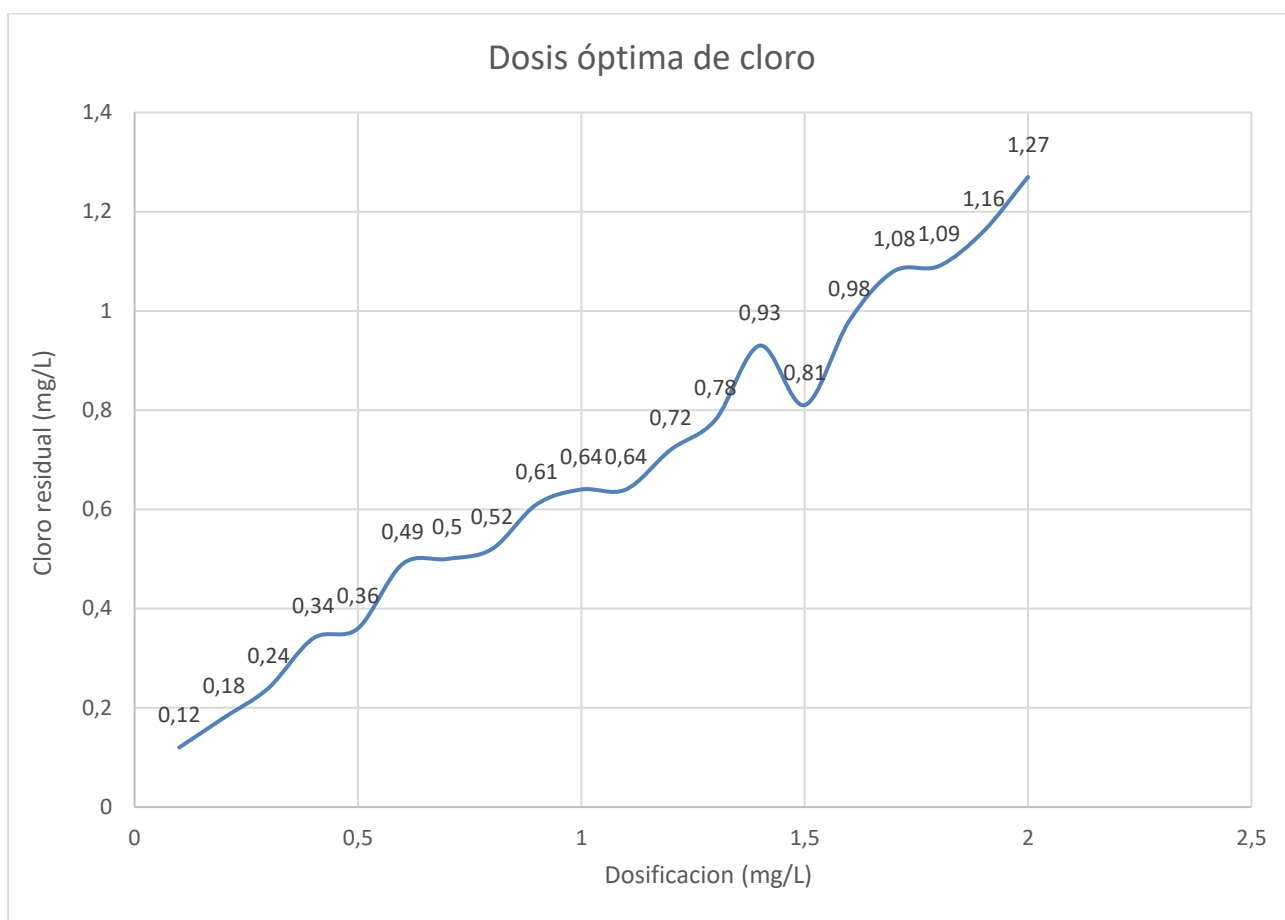
El ensayo del espesor del medio filtrante no se pudo realizarlo debido a que los filtros son presurizados y no fue posible abrirlos.

3.12.1. Evaluación de la desinfección

3.12.2. Dosis óptima de cloro

Para realizar el ensayo de dosificación óptima de cloro se procedió a agregar 30 ml de cloro con una concentración de 70 % a 1 L de agua destilada, obteniendo así la solución madre, donde se agregó 1 ml de la concentración madre al agua sin clorar de la planta a una cantidad conocida de 250 ml, este mismo procedimiento se repitió 20 veces aumentando un ml cada vez, de esta forma se busca obtener el rango de cloro residual combinado y el de cloro residual libre, para distinguirlo se necesita obtener el punto de quiebre como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfico 20 Curva de dosificación óptima



Fuente: propia

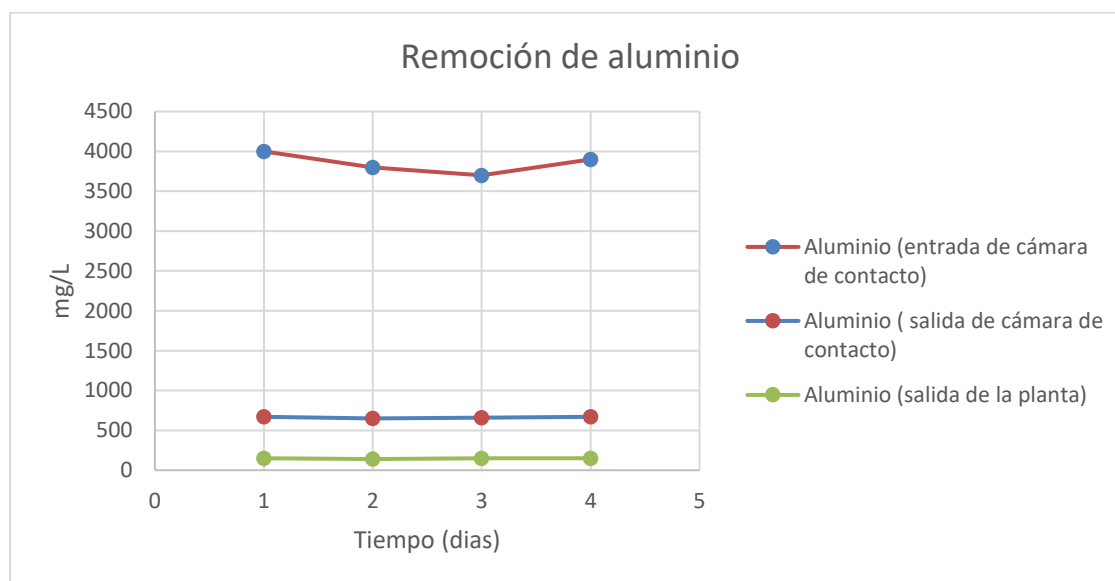
Analizando el gráfico de dosis óptima de cloro se puede observar que el punto de quiebre sucede al dosificar 1,5 mg/L de cloro, por ende, se deben de agregar más de 1,5 mg/L de cloro para que el agua se desinfecte bien, esto se debe a que el cloro residual presente estaría como cloro residual libre (cloro residual libre de 0,81 mg/L en adelante) el cual cumple con el reglamento para la calidad del agua potable, si se le agregara menos estaría en el rango residual combinado lo cual no sería correcto.

3.13.1. Evaluación de aluminio en la planta

Al entrar el agua cruda a las cámaras de contacto, el pH es de 3.5 y el aluminio ronda en 4000 unidades, al salir de la cámara el pH sale 5.3 y el aluminio 650 unidades, al agregar la soda cáustica al 50 % el pH aumenta a 6.5 o más, cumpliendo con la

normado, el floculador ascendente también tiene la función de precipitar las partículas de aluminio, donde la turbiedad promedio es de 1.62 UNT, la cual es óptima para que los filtros funcionen de manera correcta, la turbiedad promedio después de los filtros es de 0.53 UNT, el aluminio se está removiendo correctamente (mientras en la planta se esté agregando soda cáustica al 50%), midiendo el aluminio al final del proceso de filtración es de 150 unidades.

Gráfico 21 Remoción de aluminio por etapa



Fuente: propia

3.13.2. Revisión de capacidad de tubería y tanque de almacenamiento

Los datos de dotación y densidad poblacional fueron proporcionados por el personal del AyA.

La dotación por ser una zona rural es de 150 l/hab/d, la densidad poblacional utilizada es de 3.5 hab/viv.

Tabla 12 Cálculo de población

Dotaciones	Sector rural	Equivalencias	Cálculo de población
Viviendas	350	1	1225
Escuela	250	25	35
Soda	75	100	2.62
Total, poblac (hab)=			1262

Volumen poblacional por día (l/d) = total de población x dotación.

$$V_{pdc} \text{ (l/d)} = 1262.62 \times 150$$

$$V_{pdc} \text{ (l/d)} = VPD = 189393 \text{ l/d}$$

$$Q_{pdu} \text{ (l/s)} = V_{pdc} \text{ (l/d)} / 86400 \text{ s}$$

$$Q_{pdu} \text{ (l/s)} = 2.19 \text{ l/s}$$

$$Q_{pdu} \text{ (l/s)} = 0.00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se procede a calcular el caudal promedio diario (QMD) y el caudal máximo horario (QMH).

$$Q_{MD} = 1.2 \times Q_{PD}$$

$$Q_{MH} = 1.2 \times 1.8 \times Q_{PD}$$

Caudal promedio diario

$$Q_{MD} = 1.2 \times Q_{PD}$$

$$Q_{MD} = 1.2 \times 0.00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MD} = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MD} = 0.002628 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \text{ s}$$

$$Q_{MD} = 0.002628 \text{ m}^3/\text{d}$$

Caudal máximo horario

$$Q_{MH} = 1.2 \times 1.8 \times Q_{PD}$$

$$Q_{MH} = 1.2 \times 1.8 \times 0.00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MH} = 0.00473 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{MH} = 0.00473 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \text{ s}$$

$$Q_{MH} = 409.09 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se precede a calcular la capacidad de la tubería de las cámaras de contacto a la planta, con la ecuación de Hazen-Williams de la siguiente forma.

La tubería se divide en 2 tramos debido a que tiene dos dimensiones diferentes de tubos (55 mm y 63 mm) y diferentes pendientes.

Según la ecuación de Hazen-Williams

$$H_T = 10.643 \times Q^{1.85} \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times L$$

H_T : carga disponible pérdida de carga (m)

Q: caudal a conducir (m^3/s)

C: coeficiente de rozamiento de HW (PVC y PAD:125 a 130)

D: diámetro de tubería (m)

L: distancia o longitud de tubería (m)

Figura 2 Tubería de cámara de contacto a planta



Fuente: Propia

Según la ecuación de Hazen-Williams y considerando PVC para el diseño

Tramo 1 A-B

H1 (m): 850

H2 (m): 800

Delta (m): 50

L(m): 520

C: 130

$$H_T = 10.643 \times Q^{1.85} \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times L$$

$$50 = 10.643 \times Q^{1.85} \times 130^{-1.85} \times 0.050^{-4.87} \times 520$$

Q: 0.00385 m/s

Q: 3.85 L/s

Tramo 2 B-C

H2 (m): 800

H3 (m): 787

Delta (m): 13

L(m): 342

C:130

$$H_T = 10.643 \times Q^{1.85} \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times L$$

$$13 = 10.643 \times Q^{1.85} \times 130^{-1.85} \times 0.063^{-4.87} \times 342$$

Q: 0.00427 (m³/s)

Q: 4.27 (L/s)

La tubería de las cámaras de contactos a la planta, en el tramo A-B puede transportar un caudal máximo de 3.85 L/s, el tramo B-C puede transportar un caudal de 4.27 L/s, la tubería puede transportar el Q_{MD} sin ningún problema.

Revisión de tanque de almacenamiento

Revisión de la capacidad o volumen del tanque de almacenamiento, al ser en un área rural la población es menor a 5000 (población < 5000 h) por lo tanto no requiere volumen de reserva contra incendios.

Volumen de tanque de almacenamiento = VPD x 30 %

Vol.T.A = 189.35 m³/d x 30 %

Vol.T.A = 57 m³

Según los cálculos realizados calculando el QMD y QMH se puede determinar

que la tubería de la cámara de contacto a la planta puede transportar un caudal de 3.85 l/s, evaluando los tanques de almacenamiento se puede determinar que no están cumpliendo con el volumen requerido por la población, presentando un déficit de almacenamiento actual del orden de los 10 m³.

3.14.2 Presupuesto de mejoras a realizar a la planta potabilizadora de Zagala Viejo

Según lo observado se recomienda las siguientes mejoras para aumentar la vida útil de la planta potabilizadora y pueda tener un buen funcionamiento por muchos años más.

Tabla 13 Presupuesto de tanque de almacenamiento

Instalación de tanque de almacenamiento				
Tanque de almacenamiento de 10000 Litros				-
Tanque de 10000 Litros				
Tanque de almacenamiento de 10000 Litros	1,00	UND	₡ 1 288 003,00	₡ 1 288 003,00
Transporte de tanque de almacenamiento	1,00	UND	₡ 150 000,00	₡ 150 000,00
Tubo de pvc de 3"	1,00	UND	₡ 18 700,00	₡ 18 700,00
Uniones de pvc de 3"	2,00	UND	₡ 5 000,00	₡ 10 000,00
Codos de 3" de 90 grados	2,00	UND	₡ 4 800,00	₡ 9 600,00
Codos de 3" de 45 grados	2,00	UND	₡ 3 200,00	₡ 6 400,00
Pegamento pvc	1,00	UND	₡ 9 000,00	₡ 9 000,00
Segueta	1,00	UND	₡ 1 000,00	₡ 1 000,00
Mano de obra/Utilidad de herramientas	1,00	UND	₡ 250 000,00	₡ 250 000,00
Preparación de terreno para colocación de tanque	1,00	UND	₡ 25 000,00	₡ 25 000,00
			Actividad #1 =	₡ 1 742 703,00

Fuente: propia

Tabla 14 Presupuesto de reparación de cámaras de contacto

Reparación de camaras de contacto					
Reparacion de camaras de contacto					-
Mano de obra	1,00	UND	₡ 350 000,00		
Sellador 550 para concreto	2,00	UND	₡ 56 703,00	₡ 113 406,00	
Brochas 3"	7,00	UND	₡ 1 000,00	₡ 7 000,00	
Brocha 2"	5,00	UND	₡ 800,00	₡ 4 000,00	
Espatula flexible de acero 2"	3,00	UND	₡ 1 800,00	₡ 5 400,00	
Espatula flexible de acero 6"	2,00	UND	₡ 2 500,00	₡ 5 000,00	
pintra para exterior de camaras	1,00	UND	₡ 89 450,00	₡ 89 450,00	
Rodillo de 9"	4,00	UND	₡ 2 500,00	₡ 10 000,00	
Lavado con hidrolavadora	1,00	UND	₡ 40 000,00	₡ 40 000,00	
Repacion de tapas de camaras de contacto					
Bisagra de 3"	10,00	UND	₡ 2 500,00	₡ 25 000,00	
Candados	10	UND	₡ 3 000,00	₡ 30 000,00	
Pintura anticorrosiva azul	10	UND	₡ 17 450,00	₡ 174 500,00	
Aguarras	1	L	₡ 2 000,00	₡ 2 000,00	
Mano de obra	1	UND	₡ 55 000,00	₡ 55 000,00	
			Actividad #2 =	₡ 910 756,00	

Fuente: propia

Tabla 15 Mantenimiento de estructura de la planta

Mantenimiento de estructura en la planta					
Mantenimiento de estructura en la planta					-
Mano de obra	1,00	UND	₡ 800,00		
Pintura (tamque Alm, floclador y casetas)	1,00	UND	₡ 60 000,00	₡ 60 000,00	
Brochas 3"	5,00	UND	₡ 1 000,00	₡ 5 000,00	
Brocha 2"	5,00	UND	₡ 800,00	₡ 4 000,00	
Rodillo de 9"	4,00	UND	₡ 2 500,00	₡ 10 000,00	
Pintura anticorrosivo lanco	1,00	UND	₡ 4 500,00	₡ 4 500,00	
Repracion de tapa de tamque de Alm					
Bisagreas 3"	2,00	UND	₡ 2 500,00	₡ 5 000,00	
Soldadura	1,00	KG	₡ 6 500,00	₡ 6 500,00	
Mano de obra/ Utilidad de Herramientas	1,00	UND	₡ 55 000,00	₡ 55 000,00	
Reoaracion del mayado					
Tubo redondo de 2"	1	UND	₡ 19 500,00	₡ 19 500,00	
Varilla lisa 3/8	1	UND	₡ 4 000,00	₡ 4 000,00	
Saco de concre mix	1	UNID	₡ 3 800,00	₡ 3 800,00	
Mano de obra/ Utilidad de Herramientas	1	UNID	₡ 75 000,00	₡ 75 000,00	
			Actividad #3 =	₡ 252 300,00	

Fuente: propia

Conclusiones

1. Se examinó el funcionamiento hidráulico de la planta por medio del ensayo de trazadores en cada uno de los procesos de potabilización donde se determinó el comportamiento hidráulico del floculador ascendente, el cual es de flujo dual ya, que está conformado por flujo mezclado y flujo pistón, no presenta espacios muertos, ni cortos circuitos hidráulicos, también se determinó el tiempo de retención teórico y el tiempo de retención real los cuales fueron muy similares, en los filtros presurizados se determinó que el comportamiento hidráulico es dual, no presenta cortos circuitos pero si presenta espacios muertos donde el trazador queda retenido, el tiempo de retención teórico y el real no fueron tan similares, a los filtros también se evaluó la calidad del filtrado inicial donde se determinó que el tiempo óptimo de lavado, en la parte sanitaria se determinó la dosis óptima de cloro donde se obtuvo la cantidad de cloro a aplicar.
2. Se sugiere que la planta siempre mantenga soda caustica al 50%, así como realizar mejoras en la infraestructura de la planta potabilizadora y efectuar el debido mantenimiento periódicamente.
3. Se identificó que los procesos de potabilización se están realizando adecuadamente está cumpliendo con la función principal que es la corrección de pH y la remoción de aluminio según lo normado, en los procesos de mantenimiento se corrigió el tiempo óptimo de lavado de los filtros y el cloro residual ronda entre 0.82mg/L a 0.67 mg/L lo cual indica que la planta está cumpliendo con lo normado.
4. Realizando la revisión de la tubería que abastece la planta potabilizadora se obtuvo que el caudal máximo que puede transportar es 3.85 l/s, se procedió a evaluar el tanque de almacenamiento y se determinó que el tanque de almacenamiento tiene un déficit actual de aproximadamente 10 m³, agregando un tanque de almacenamiento de 10 m³ o más, se tendría la capacidad de abastecer adecuadamente las comunidades de Zagala Vieja y Villa Bruselas.
5. Efectuando las inspecciones, se procedió a llenar la ficha de inspección inicial donde se describió las características de la planta, la cual está conformada por dos cámaras de piedra caliza, por un floculador ascendente, por un tanque de

carga, por tres filtros presurizados, por dos tanques de almacenamiento, tres lechos de secado, y una caseta de almacenamiento de reactivos, en general la planta se encuentra en buen estado.

Recomendaciones

Se recomienda cambiar el lecho filtrante de los filtros debido a que al ser lavados está expulsando antracita, lo cual no debería de ser así, los filtros deben de cambiarse cada 5 años lo que indica que ya cumplieron su vida útil de esta manera se garantiza que el agua filtrada sea óptima.

Se sugiere utilizar los lechos de secado, ya que los residuos del lavado de los filtros no se deben verter en la vía pública.

Llevar un mayor control con la cloración, debido a los cambios de caudal que ocurren ya sea por medios naturales o fugas, implican cambiar la dosificación del cloro, así como estar asistiendo día por medio para estar aplicando las pastillas del clorador Accutab las cuales se deben de colocar de forma manual.

Realizar mantenimientos periódicos en la estructura de la planta potabilizadora, ya que la mayor parte de la estructura es de concreto reforzado, a este tipo de estructuras se le generan hongos los cuales disminuyen el tiempo de vida de la estructura, se sugiere pintar la estructura y tratar los hongos. También cambiar las tapas de las cámaras de contacto y el tanque de almacenamiento esto debido a que están en mal estado (oxidadas, sin candados, sueltas y otros), de esta forma se estaría disminuyendo el riesgo de que se introduzcan animales o materia vegetal al agua y ponga en riesgo la salud de los consumidores de esta área.

Arreglar fugas de agua que se encuentran en la tubería de las cámaras de contacto a la planta donde se encontraron 2 fugas, las cuales causan que la planta disminuya la producción.

Se sugiere que la planta potabilizadora de Zagala Vieja siempre tengan soda cáustica al 50 %, por diversos motivos la planta ha estado funcionando sin el debido reactivo, esto induce a que la planta no pueda cumplir su función principal que es la remoción de aluminio y no estaría cumpliendo con lo normado, asimismo que día por medio se esté revisando el clorador para que esté aplicando la dosis de cloro correcta, chequear el aluminio al final del proceso, así también mejorar aspectos en infraestructura como reparar la tapa del tanque de almacenamiento de esta forma se va a cuidar la salud de los habitantes de Zagala Vieja y Villa Bruselas.

Se recomienda arreglar la cámara de contacto #1 y ponerla a funcionar esto con el fin de que la cámara de contacto #2 no esté rebalsando y desperdiciando el agua, si no que esta pueda ser utilizada tratando 4 L/s, de esta forma se puede aumentar la capacidad de tratamiento

de la planta aumentando, según experiencia del personal del AyA puede potabilizar 4 L/s, lo cual disminuiría el problema de abastecimiento de Zagala Vieja y Villa Bruselas.

Para que la población de Villa Bruselas y Zagala Vieja no tenga problemas de abastecimiento de agua se recomienda agregar un tanque de almacenamiento de 10 m³, esto porque los tanques ubicados en la planta no tienen la capacidad requerida.

Seguir lo mejor posible las indicaciones del manual de operaciones de la planta y así mismo agregar la curva de dosis óptima de cloro, también agregar el tiempo óptimo de lavado de los filtros.

Bibliografía

Reglamento para la calidad del agua potable Decreto No 38924-S (2015) San José, Republica de Costa Rica. Web [Sistema Costarricense de Información Jurídica \(pgrweb.go.cr\)](http://pgrweb.go.cr)

Inec. (2011). *Censos 2011. Inec Costa Rica*. Web [Censos 2011 | INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS \(inec.cr\)](http://censos2011.inec.cr)

Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados (2018).(Informe de gestión 2014-2018).Costa Rica. AyA web [Informe final de Gestión AyA 2014 2018.pdf](#)
Informe de gestión (2014-2018)

Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados (2017). Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017) Costa Rica AyA web [Norma diseño y construccion sistemas agua, saneamiento y pluvial .pdf](#)

Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados (2014). Reglamento para la prestación de los servicios de AyA (2014) Costa Rica. Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados.

Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados (-). *Especificaciones técnicas generales del instituto costarricense de acueductos y alcantarillados Costa Rica AyA*

Romero, J. A. (1999). *potabilización del agua (3 edición)*. Escuela Colombiana de ingeniería (Romero, 1999)

Romero, J. A. (1997). *Calidad del agua (2 edición)*. Escuela Colombiana de ingeniería.

Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente

Aluminio: *ingestión, absorción, excreción y toxicidad*. (Rev costarr salud pública).(2014).Colombia. [art03v23n2.pdf \(scielo.sa.cr\)](#)

Vargas, L. (2005). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.

Mata, A. U. (1999). *Evaluación preliminar hidráulica y operacional de la planta de tratamiento de agua potabilizadora de la ciudad de Puntarenas* [Tesis de Licenciatura no publicada].

Universidad de Costa Rica.

Restrepo H. O. (2009) *Evaluación del proceso de coagulación- floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.

Servas, J. G. (2020). *Evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de rincón de Zaragoza, Palmares* [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Latina de Costa Rica.

Quispe J. G. (2019). *Diseño y análisis de plantas potabilizadoras de agua para consumo humano, en el centro poblado de Balsapata*. [Tesis de Licenciatura publicada]. Universidad Nacional de Altiplano de Perú

Mora, V. S. (2019). *Evaluación preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la planta potabilizadora de barranca de Puntarenas* [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad Latina de Costa Rica.

Inec. (2011). *Censos 2011. Inec Costa Rica*. Web [Resultados de Búsqueda | INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS \(inec.cr\)](#)

OMS, (2019, 14 de junio). Agua. Web. [Agua \(who.int\)](#)

Vergara, Ed. (2014). Tracender. WestBow.

Corcho Romero, F. H., & Duque Serna, J. I. (2005). *ACUEDUCTOS: TEORÍA Y DISEÑO*. (L. C. Restrepo, Ed.) Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.

Empresas Públicas de Medellín. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EMP*. https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

CONAGUA (2015): *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México D.F. (México): Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Web: [CONAGUA 2015. Inventario Nacional de Plantas Municipales.pdf \(sswm.info\)](#)

CONAGUA (2014): *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México D.F. (México): Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; Diseño de Redes de distribución de Agua Potable*. Mexico D.F: Comisión Nacional del Agua.

Wright, H.B. y Cairns, W.L.(2001).*Luz Ultravioleta, Gore Road, Canada*. [DESINFECCION DE AGUA POR MEDIO DE LUZ ULTRAVIOLETA \(salud.gob.sv\)](#)

CEPIS/OPS (2005). *Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida*. (Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada). Perú. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del Ambiente.

Titan. (Desconocida). Válvulas. [Válvulas de Mariposa \(valvulas-check-titan.com\)](#)

Camacho, M. (2014). *Control y evaluacion de la planta de tratamiento de agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo del canton Caluna- Provincia de Bolivar* . (publicación n 775)[Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. [Tesis 775 - Camacho García Marlene Beatríz.pdf \(uta.edu.ec\)](#)

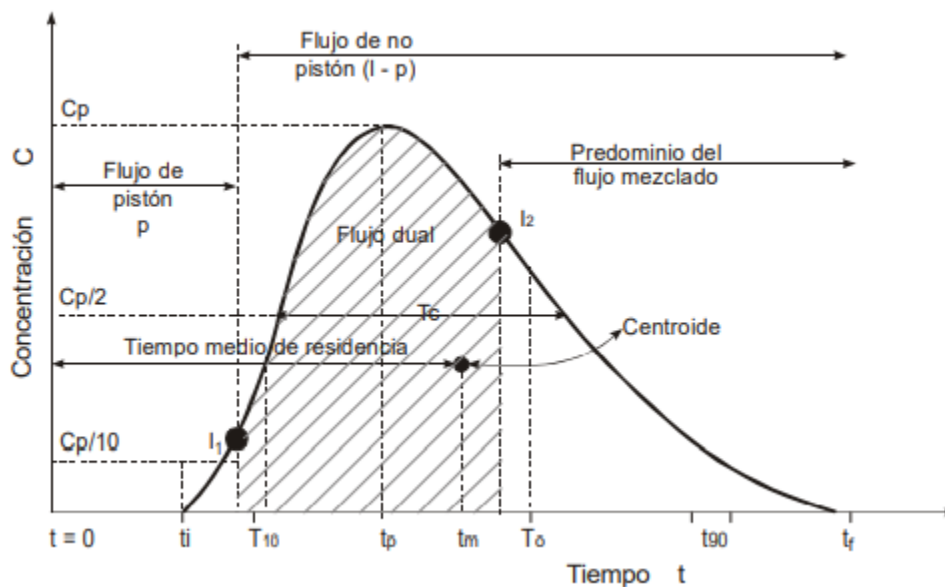
Calvo, D. (2019). *Propuesta de diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para el poblado de Capellades, Alvarado, Cartago*. [Tesis de Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]

MRWA (2009). *Coagulation and Flocculation. Minnesota Water Works Operations Manual, chapter 12. Minnesota (USA)*: Minnesota Rural Water Association (MRWA). 4th edition web: [COAGULATION AND FLOCCULATION \(sswm.info\)](#)

CONAGUA (2017). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento diseño de redes de distribución de agua potable* wed: [SGAPDS-1-15-Libro12.pdf](#)
([conagua.gob.mx](#))

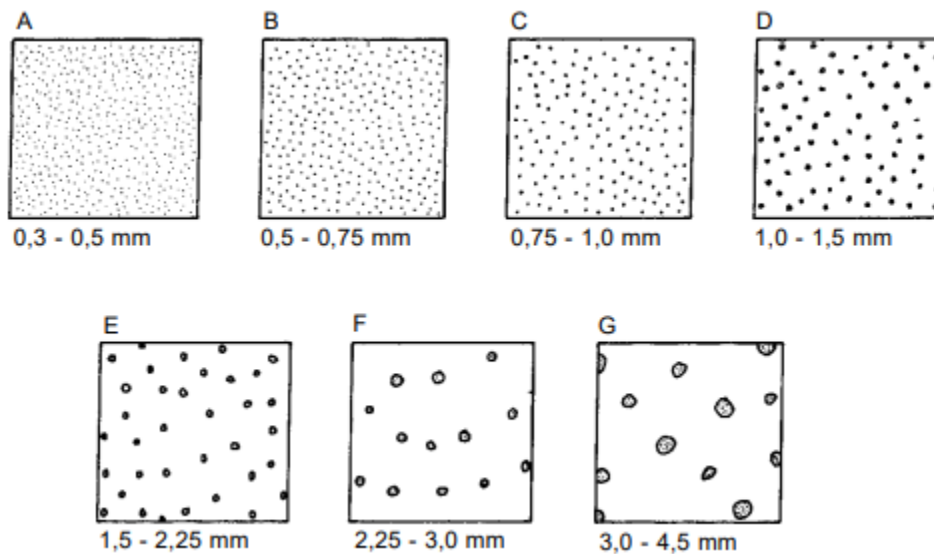
Anexos

Figura 3: Gráfico de trazadores



Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada

Figura 4: Tamaño de flóculos



Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada

Figura 5 Filtros presurizados, cuenta con tres unidades y válvulas en la entra así como en la salida



Fuente: propia

Figura 6: Tanque de Bombeo, con una capacidad de 6000 litros



Fuente: Propia

Figura 7: Lecho de secado, tres unidades de secado de lodos.



Fuente: Propia

Figura 8: Tolva de recepción de agua de lavado de los tanques presurizados



Fuente: Propia

Figura 9: Caseta de almacenamiento de soda cáustica al 50% y bomba dosificadora



Fuente: Propia

Figura 10: Tanque flocculador ascendente (flocculador – sedimentador), de concreto reforzado



Fuente: Propia

Figura 11: Caseta de almacenamiento de soda cáustica al 50%, de concreto reforzado.



Fuente: Propia

Figura 12: Caja de válvulas de control y punto de aplicación de soda cáustica al 50%



Fuente: Propia

Figura 13: Lechos de secado, filtros presurizados y tanque de almacenamiento



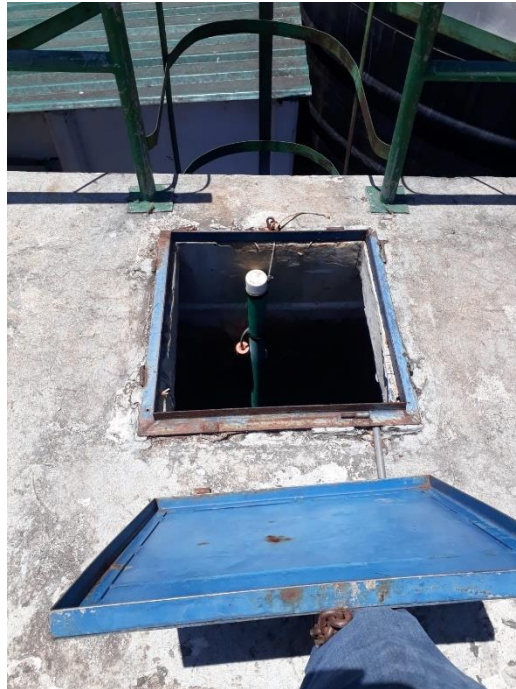
Fuente: Propia

Figura 14: Tanque floculador sedimentador ascendente de concreto reforzado con acero estructural



Fuente: Propia

Figura 15 Tapa de tanque de almacenamiento dañada (despegada en su totalidad)



Fuente: Propia

Figura 16 Estado de Cámaras de contacto 1 y 2



Fuente: Propia

Figura 17 Daños en estructura de cámara de contacto 2



Fuente: Propia

Figura 18 Clorador Accutab



Fuente: Propia

Figura 19 Ingreso agua cruda a la cámara de contacto 2



Fuente: Propia

Figura 20 Toma de muestra de agua cruda, para ser analizada posteriormente



Fuente: Propia

Figura 21 Piedra caliza de cámara de contacto 2, primera etapa de tratamiento del agua de las nacientes de cabuyal.



Fuente: Propia

Figura 22 Aluminio precipitado en la parte superior del floculador ascendente (floculador – sedimentador)



Fuente: Propia

Figura 23 Residuos de lecho filtrante, posterior al lavado de la batería de filtros presurizados



Fuente: Propia

Figura 24: Photometer 7500, equipo utilizado para medir aluminio en la planta potabilizadora



Fuente: Propia

Figura 25 Turbidímetro, instrumento utilizado para medir turbiedades en el agua



Fuente: Propia

Figura 26 Preparación de salmuera, para realizar el ensayo de trazadores.



Fuente: Propia

Figura 27 Medición de cloro residual al final del proceso de potabilización



Fuente: Propia

Figura 28 Medición de aluminio del agua al final de proceso de la remoción de aluminio



Fuente: Propia

Figura 29 Medición de conductividad de la prueba de trazadores realiza en la planta potabilizadora



Fuente: Propia

Figura 30 Fuga 1 de tubería que conduce agua de las cámaras de contacto a la planta potabilizadora



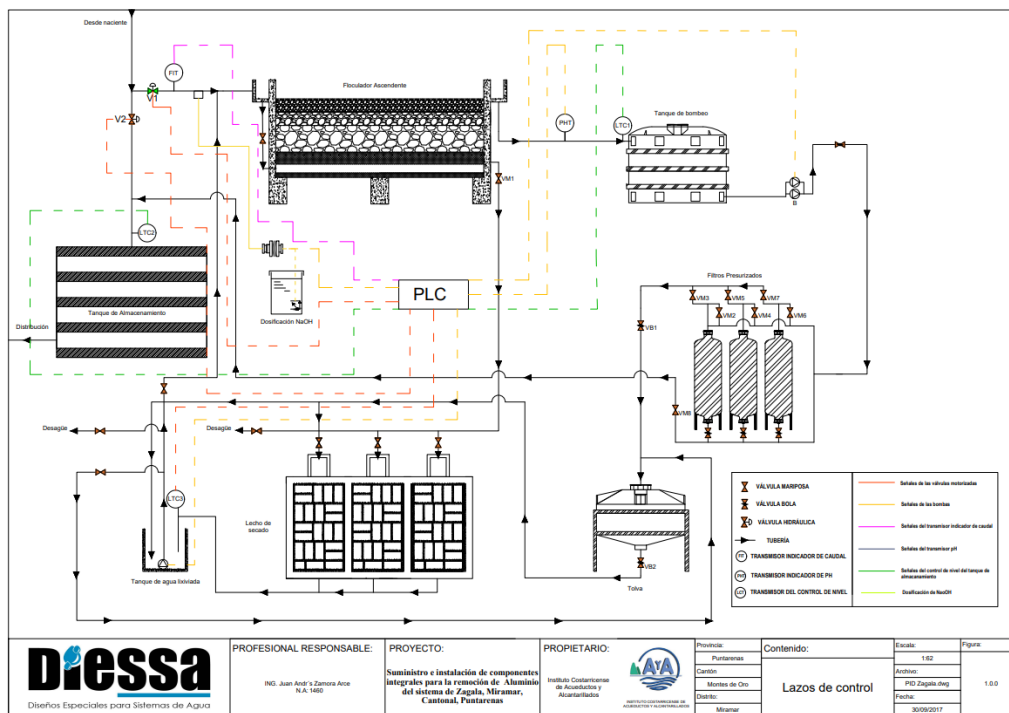
Fuente: Propia

Figura 31 Fuga 2 de tubería que conduce agua de las cámaras de contacto a la planta potabilizadora



Fuente: Propia

Figura 32: Planos de la planta potabilizadora



Fuente: AyA (Imagen)

Tabla 16 Caudal en el año 2021

Meses	Caudal (L/s)
Enero	3.65
Febrero	3.62
Marzo	3.46
Abril	3.20
Mayo	2.78
Junio	2.64
Julio	2.71
Agosto	3.33
Setiembre	3.36
Octubre	3.64
Noviembre	3.17
Diciembre	3.60

Fuente: propia

Tabla 17 Datos prueba de trazadores floculador ascendente

# Muestra	T (min)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	0	117
2	5	308
3	10	517
4	15	926
5	20	1426
6	25	1508
7	30	1476
8	35	1318
9	40	1142
10	45	1001
11	50	832
12	55	732
13	60	635
14	65	555
15	70	483
16	75	434
17	80	380
18	85	340
19	90	303
20	95	272
21	100	254
22	105	232
23	110	214
24	115	200
25	120	190
26	125	172
27	130	172
28	135	172
29	140	160

30

145

119

Fuente: Propia

Tabla 18 Resultados de ensayo de trazadores del floculador ascendente

Muestra	t	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-f(t)
0	0	0	117	0	0	0	100
1	5	0.09	308	191	191	1.46	98.54
2	10	0.18	517	400	591	4.52	95.48
3	15	0.27	926	809	1400	10.70	89.30
4	20	0.36	1426	1309	2709	20.71	79.29
5	25	0.45	1508	1391	4100	31.35	68.65
6	30	0.55	1476	1359	5459	41.74	58.26
7	35	0.64	1318	1201	6660	50.92	49.08
8	40	0.73	1142	1025	7685	58.75	41.25
9	45	0.82	1001	884	8569	65.51	34.49
10	50	0.91	832	715	9284	70.98	29.02
11	55	1.00	732	615	9284	75.68	24.32
12	60	1.09	635	518	10417	79.64	20.36
13	65	1.18	555	438	10855	82.99	17.01
14	70	1.27	483	366	11221	85.79	14.21
15	75	1.36	434	317	11538	88.21	11.79
16	80	1.45	380	263	11801	90.22	9.78
17	85	1.55	340	223	12024	91.93	8.07
18	90	1.64	303	186	12210	93.35	6.65
19	95	1.73	272	155	12365	94.53	5.74
20	100	1.82	254	137	12502	95.58	4.42
21	105	1.91	232	115	12617	96.46	3.54
22	110	2.00	214	97	12714	97.20	2.80
23	115	2.09	200	83	12797	97.84	2.16
24	120	2.18	190	73	12870	98.39	1.61
25	125	2.27	172	55	12925	98.81	1.19

26	130	2.36	172	55	12980	99.24	0.00
27	135	2.45	172	55	13035	99.66	0.00
28	140	2.55	160	43	13078	99.98	0.00
29	145	2.64	119	2	13080	100.00	0.00

Fuente: Propia

Tabla 19 Datos prueba de trazadores filtros

Muestra	Tiempo (min)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0	0	119
1	5	302
2	10	625
3	15	767
4	20	814
5	25	896
6	30	919
7	35	914
8	40	883
9	45	833
10	50	773
11	55	762
12	60	765
13	65	756
14	70	754
15	75	627
16	80	515
17	85	428
18	90	405
19	95	377
20	100	352
21	105	326
22	110	303
23	115	284
24	120	120

Fuente: propia

Tabla 20 Resultados del ensayo de trazadores de los filtros presurizados

Muestra	t	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-f(t)
0	0	0	119	0	0	0	100
1	5	0.17	302	183	183	1.65	98.35
2	10	0.33	625	506	689	6.21	93.79
3	15	0.50	767	648	1337	12.06	87.94
4	20	0.67	814	695	2032	18.33	81.67
5	25	0.83	896	777	2809	25.34	74.66
6	30	1.00	919	800	3609	32.55	67.45
7	35	1.17	914	795	4404	39.72	60.28
8	40	1.33	883	764	5168	46.61	53.39
9	45	1.50	833	714	5882	53.05	46.95
10	50	1.67	773	654	6536	58.95	41.05
11	55	1.83	762	643	7179	64.75	35.25
12	60	2.00	765	646	7825	70.58	29.42
13	65	2.17	756	637	8462	76.32	23.68
14	70	2.33	754	635	9097	82.05	17.95
15	75	2.50	627	508	9605	86.63	13.37
16	80	2.67	515	396	10001	90.20	9.80
17	85	2.83	428	309	10310	92.99	7.01
18	90	3.00	405	286	10596	95.57	4.43
19	95	3.17	377	258	10854	97.90	2.10
20	100	3.33	352	233	11087	100.00	0.00

Fuente: Propia

Tabla 21 Calidad de filtrado inicial

Filtro 3		
Muestra	Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)
1	1	1.85
2	2	1.56
3	3	1.66
4	4	1.49
5	5	1.2
6	6	1.4
7	7	1.15
8	8	0.85
9	9	0.97
10	10	0.85
11	11	0.85

12	12	0.84
13	13	0.82
14	14	0.92
15	15	0.84

Fuente: Propia

Tabla 22 Datos de calidad de filtrado inicial (ensayo 2)

Filtro1,2,3		
Muestra	Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)
1	1	1.28
2	2	0.55
3	3	0.48
4	4	0.46
5	5	0.54
6	6	0.47
7	7	0.46
8	8	0.51
9	9	0.43
10	10	0.54

Fuente: Propia

Tabla 23 Tiempo de lavado del filtro 3

Muestra	Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)
1	1	3.39
2	2	769
3	3	299
4	4	136
5	5	38.5
6	6	13
7	7	8.12
8	8	9.37
9	9	6.09
10	10	5.45

Fuente: propia

Tabla 24 Datos del tiempo de lavado (filtro 1,2,3)

Tiempo de lavado de filtros				
Muestra	T(min)	Filtro 1 T(UNT)	Filtro 2 T(UNT)	Filtro 3 T(UNT)
1	1	12.5	7.28	2.53
2	2	846	866	653
3	3	723	623	100
4	4	71	106	72.7
5	5	49.3	1.42	30.5
6	6	23.6	16.3	12.1
7	7	9.64	8.34	6.33

Fuente: propia

Tabla 25 Datos del ensayo de dosis óptima de contacto

Dosis (mg/L)	Cloro residual (mg/L)
1	0.12
2	0.18
3	0.24
4	0.34
5	0.36
6	0.49
7	0.5
8	0.52
9	0.61
10	0.64
11	0.64
12	0.72
13	0.78
14	0.93
15	0.81
16	0.98
17	1.08
18	1.09
19	1.16
20	1.27

Fuente: propia

Ficha de inspección inicial**Ficha técnica para la inspección inicial****Fecha:** 11/3/2022**A. UBICACIÓN****1. País:** Costa Rica**2. Nombre de la planta:** Planta potabilizadora de Zagala Vieja.**3. Localidades abastecidas:** Zagala Vieja, Villa Bruselas.**4. Localización: Cantón:** Montes de Oro **Provincia:** Puntarenas **Distrito:** Miramar**5. Dirección de la planta:** 1 km al norte de la Escuela de Zagala Vieja

Coordenadas CRTM05. X:414061 Y:1117125

Distancia de la capital: 235 km aproximadamente km **Altitud:** 914 m. s. n. m.**6. Institución propietaria o administradora:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).**B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO****7. Fuente de abastecimiento:** Nacientes Cabuyal

a) Naciente

7.1 Tipo de toma: subterránea**7.2 Conducción de agua cruda:** por gravedad

b) Por gravedad la planta el 100 % del tiempo se abastece de la naciente ya que es la única fuente de agua que cumple con el caudal.

Gráficos

7.3 Desarenador: No presenta ya que el agua es de naciente.**7.4 Presedimentador:** no presenta**Módulos reguladores de pH:** Incluye dos módulos, solo uno se encuentra en servicio este incluye piedra caliza la cual tiene la función de subir el pH, para que cumpla con la norma y pueda ser removido el aluminio.

a) Largo: 6 m b) Ancho: 2.40 m

c) Área: 14.4 m²**C. CALIDAD DE LA FUENTE****D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA**

8. Caudal de la planta

En el siguiente cuadro se muestra el promedio de caudal por cada mes del año, este se graficó para observar el comportamiento en el año 2021 y observar los meses que recibe menos caudal.

8.1 Caudal de proyecto: 3.5 L/s

8.2 Caudal máximo con el que opera la planta: 3.64 L/s

Indique los meses del año o situaciones en que se da esta condición: Los meses del año en que se maneja el caudal de 3.5 L/s son de mayo a octubre ya que son los meses de época lluviosa

8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta: El caudal mínimo con el que opera la planta 2.6 L/s normalmente en el mes de junio, en ocasiones ha funcionado con 2 L/s.

Indique los meses del año o las situaciones en que se da esta condición: Los meses del año en que se maneja el caudal de 2.6 L/s son de abril y mayo ya que son los meses de verano y los mantos acuíferos no han recuperado en su totalidad.

9. Tipo de planta: filtración rápida

a) **Patente:** N/A

b) **Convencional clásica:** N/A

c) **Tipo :** Filtración rápida

Año en que se diseñó: 2018

Año en que se remodeló/amplió/optimizó: 2019

10. Descripción: Se agregó una caseta para un guarda, así como un baño y un tanque de almacenamiento de 22 000 L

10.1 Medidor de caudal: ultrasónico **Tipo:** Electromagnético

10.2 Filtración rápida

Tipo: Soda cáustica al 50 % **Punto de aplicación:** se aplica en la entrada del floculador ascendente de forma mecánica, mediante bomba dosificadora.

10.3 Floculadores

a) **Tipo:** Floculador ascendente

b) **Número de unidades:** 1

c) **Número de tramos:** 1

d) **Profundidad útil:** 2.22 m

- e) **Largo:** 5.3 m
- f) **Ancho:** 2.57 m

10.4 Decantadores

Tipo 1

- a) **Tipo:** Decantador (floculador ascendente)
- b) **Número de unidades:** 1
- c) **Área de cada unidad:** 13.621 m²

10.5 Filtros

- a) **Tipo de filtro:** Filtros presurizados Tasa declinante
- b) **N.o de unidades :**3
- c) **Tipo de lecho filtrante:** Grava, arena sílex y antracita
- d) **Área de cada filtro:** 0.30 m²

10.6 Dosificación

- a) **Coagulante:** Soda cáustica al 50 %

Tipo de dosificador: Bomba dosificadora

Número: 1

- d) **Cloro:** Pastillas de Accutab **Tipo de dosificador:** Clorador **Número:** 1

Glosario

pH: Medición de acidez o alcalinidad

Agua: Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Tecnología empleada en plantas potabilizadoras

Flocular: se refiere a separar los sólidos de los líquidos por medio de sedimentación o flotación.

OMS: Organización Mundial de la Salud

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Cloro: Elemento químico gaseoso de número atómico 17 de color verde amarillento olor sofocante.

Coagulación: Proceso por el cual un líquido pierde su liquidez.

Caudal: Cantidad de un fluido que discurre en un determinado lugar por un tiempo determinado.

Desinfectar: Quitar a algo la infección o la propiedad destruyendo gérmenes.

Filtro: Materia porosa, como el filtro, el papel, la esponja, el carbón, la piedra, etc., o masa de arena o piedras menudas, a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión.

Sedimentación: Acción y efecto de sedimentar o sedimentarse.

Flóculo: Formarse grumos.

Mezcla: Acción y efecto de mezclar o mezclarse.

Potabilización: Consiste en eliminar sustancias químicas y orgánicas del agua.

Flujo: Acción y efecto de fluir.

Color: Carácter peculiar de algunas cosas.