



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**  
POWERED BY **Arizona State University**

**Universidad Latina de Costa Rica**

**Facultad de Ingeniería Civil y TIC's  
Escuelas de Ingenierías Civil Grado de Licenciatura.**

**Licenciatura en Ingeniería Civil.**

**Proyecto Final de graduación.**

**Evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.**

**Autor:**

- Jonathan Arias Madrigal

**Nombre del tutor:**

Ing. Leonardo Moya González.

**Fecha entrega:** 6 de mayo del 2021



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “**Evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.**”, por el (la) estudiante: Jonathan Arias Madrigal, 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 Gonzalez

Tutor

---

Alberto Gonzalez Solera

Lector

---

Giovanni Arguedas Morales.

Representante



## COMITÉ ASESOR

---

Ing. Leonardo Moya Gozalez

Tutor

---

Ing. Alberto Gonzalez Solera

Lector

---

Ing. Giovanni Arguedas Morales

Representante



## CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 6 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 hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.**, elaborado por el estudiante: Jonathan Arias Madrigal, 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=CPF-01-0406-0491, S=+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: 2022.05.06 17:01:04-06'00'  
Foxit PDF Reader Versión: 11.2.1

Ing. Leonardo Moya González.  
104060491

**CARTA DE APROBACION POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE  
GRADUACIÓN**

Heredia, 6 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 hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.**, elaborado por la estudiante: Jonathan Arias Madrigal, 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,

**ALBERTO  
GONZALEZ  
SOLERA (FIRMA)**

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: 2022.05.06 12:38:53 -06'00'  
Versión de Adobe Acrobat: 2015.007.00000

Esp. Ing. Alberto González Solera  
IC-16251  
Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA  
Fiscal de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.

**CARTA DE FILÓLOGA**

Heredia, 14 de mayo del 2022

Señores (as)  
Facultad de Ingeniería Civil y TIC's  
Escuelas de Ingenierías Civil Grado de Licenciatura  
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 hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.”**, del estudiante **Jonathan Arias Madrigal**, 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: 14/05/2022 06:44 AM  
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

Lcda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

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

**Universidad Latina de Costa Rica**

Yo (Nosotros): Jonathan Arias Madrigal

De la Carrera /  
Programa:

Ingeniería Civil

Modalidad de  
TFG:

Proyecto

Titulado:

Evaluación hidráulica y sanitaria de la  
planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela

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 14 de mayo de 2022 a las 12:20

Firma del estudiante(s): Jonathan Arias M.



## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Jonathan Arias Madrigal 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:

Evaluación hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora de San Mateo, Alajuela.

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

Firmo en Alajuela, 14 de mayo del 2022

Jonathan Arias M.

Jonathan Arias

Madrigal.

## Resumen

En el presente proyecto de análisis, se genera una evaluación de la planta potabilizadora de agua ubicada en San Mateo de Alajuela, la cual presentó una ampliación en el año dos mil dieciocho (2018), donde se amplía de una capacidad de quince litros por segundo (15 L/s) a una capacidad admisible de veinticinco (25 l/s) para poder abastecer a las poblaciones que se alimentan de la planta (los cuales son: San Mateo, Higuito y la zona central de Desamparados), por el motivo que estas regiones han recibido un crecimiento considerable con el transcurso del tiempo.

Surge la necesidad de generar una evaluación a la respectiva planta potabilizadora, con el fin de comprender de una mejor forma los procesos que se ven involucrados y que se emplean para la potabilización del agua cruda obtenida del río Machuca y la quebrada de Los Mora.

Para poder realizar el procedimiento de análisis, que es requerido en el proyecto, es necesario comprender los diferentes procesos presentes en las plantas de tratamiento de agua potable que corresponden a los siguientes: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, es necesario determinar su respectiva dosificación, sustancias químicas que se están utilizando y las cuales se deberían utilizar en la planta potabilizadora, esto ya que al no tener una evaluación al día de la planta potabilizadora se utilizan datos erróneos para los respectivos procesos.

En este trabajo para la determinación de los procesos mencionados anteriormente se realizan diversas pruebas de laboratorio, por las cuales se puede apreciar la prueba de trazadores, prueba de jaras, experimentación de la dosificación de sustancias, determinación de las características del medio filtrante (arena, grava, entre otras.), y demás pruebas que se aprecian en el transcurso de la resolución del trabajo de investigación, las cuales generan resultados de gran importancia para este proyecto.

## Summary

No index entries found. In this analysis project, an evaluation of the drinking water treatment plant located in San Mateo, is generated, which presented an expansion in two thousand eighteen (2018), where a capacity of fifteen liters per second (15 L/s) is expanded to an allowable capacity of twenty-five (25 L/s) to supply the populations that are fed from the plant (which are: San Mateo, Higuítio and the central area of Desamparados), for the reason that it has received considerable growth over time.

The need arises to generate an evaluation of the respective water treatment plant, in order to better understand the processes that are involved and that are used for the purification of raw water, present in the Machuca River and the Quebrada de Los Mora.

In order to carry out the analysis procedure required in the project, it is necessary to understand the different processes present in the drinking water treatment plants that correspond to the following: coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection, it is necessary to determine their respective dosage, chemical substances that are being used and which should be used in the drinking water treatment plant, since not having an updated evaluation of the drinking water treatment plant, erroneous data is used for the respective processes.

In this respective work for the determination of the aforementioned processes, several laboratory tests are carried out, by which we can appreciate the test of appraisers, rockrose test, experimentation of the dosage of substances, determination of the characteristics of the filtering medium (sand, gravel, etc.), and other tests that are appreciated in the course of the resolution of the research work, which generate results of great importance for this project.

## Índice

Resumen.....	X
Summary.....	XI
Índice.....	XII
Índice de tablas .....	XVII
Índice de figuras.....	XVIII
Introducción. ....	1
Antecedentes .....	2
Planteamiento del problema de investigación.....	4
Hipótesis. ....	6
Objetivos. ....	7
Objetivo general .....	7
Objetivo específico.....	7
Justificación .....	8
Alcance y limitaciones.....	10
Alcance.....	10
Limitaciones.....	10
Impacto .....	11
2. Marco teórico.....	12
2.1. Marco situacional. ....	13
2.1.1. Contexto geográfico. ....	13
2.1.2. Historia de la planta.....	13
2.2. Marco Teórico Conceptual.....	14
2.2.1. Agua potable.....	14
2.2.2. Agua pura. ....	14
2.1.3. Características del agua. ....	14
2.1.3.1 Físicas. ....	14
2.1.3.2. Químicas. ....	16
2.1.3.3. Biológicas. ....	19
2.1.4 Cloro. ....	21
2.1.5. Calidad del agua. ....	21
2.1.5.1. Fuentes de Abastecimiento de agua.....	22

2.1.5.1.1 Sistema por gravedad (gravitatorio).....	22
2.1.5.1.2. Sistema por bombeo.....	22
2.1.5.1.3. Aguas superficiales.....	22
2.1.5.2.3. Aguas subterráneas.....	22
2.1.6 Planta potabilizadora.....	22
2.1.6.1. Plantas de filtración rápida.....	23
2.1.6.1.1. Clasificación de plantas de filtración rápida.....	23
2.1.6.1.2. Plantas de filtración lenta.....	24
2.1.7. Captación.....	24
2.1.8. Desarenador.....	24
2.1.9. Coagulación.....	25
2.1.9.1 Tipos de colides de acuerdo con su comportamiento en el agua.....	25
2.1.9.2 Propiedades de los coloides.....	25
2.1.9.2.1. Comportamiento de las propiedades cinéticas.....	25
2.1.9.2.2. Propiedad óptica, Efecto Tyndall-Faraday.....	26
2.1.9.2.3. Propiedad de superficie: adsorción.....	26
2.1.9.2.4. Propiedad electrocinética: electroforesis.....	26
2.1.9.3. Sustancias químicas empleadas en la coagulación.....	26
2.1.9.3.1 Coagulante.....	26
2.1.9.3.2 Sulfato de aluminio.....	27
2.1.9.3.3. Cloruro férrico $FeCl_3$ .....	27
2.1.9.4. Mecanismos de coagulación.....	27
2.1.10. Floculación.....	27
2.1.10.1. Parámetros operacionales de la floculación.....	28
2.1.10.2. Aspectos que influyen.....	28
2.1.10.2.1. Naturaleza del agua.....	28
2.1.10.2.2. Influencia del tiempo de floculación.....	29
2.1.10.2.3 Influencia del gradiente de velocidad.....	29
2.1.10.2.4. Influencia de la variación del caudal.....	29
2.1.10.3 Floculadores.....	29
2.1.10.3.1. Floculadores de contacto de sólidos.....	29
2.1.10.3.2. Floculadores de potencia.....	29

2.1.11. Sedimentación. ....	29
2.1.11.1. Tipos de sedimentación.....	30
2.1.11.2. Factores que influyen el proceso de sedimentación.....	31
2.1.11.3. Clasificación de unidades. ....	32
2.1.11.3.1. Sedimentación y decantadores estáticos. ....	32
2.1.11.3.2 Decantadores dinámicos.....	33
2.1.11.3.3. Decantadores laminares.....	33
2.1.11.3.4. Características del sedimentador.....	34
2.1.11.3.5. Tipos de decantadores laminares.....	35
2.1.12. Filtración.....	36
2.1.12.1. Factores que influyen en el proceso de filtración. ....	36
2.1.12.1.1. Características de la suspensión. ....	36
2.1.12.2. Características del Medio filtrante.....	38
2.1.12.3. Tipo de unidades de filtración.....	40
2.1.12.3.1. Clasificación.....	40
2.1.13.3.2. Filtración por gravedad. ....	41
2.1.12.4. Medios filtrantes ....	42
2.1.13.4.1. Filtros de lecho simple. ....	42
2.1.13.4.2 Filtros de lecho múltiple.....	42
2.1.13.4.3 Filtración a presión.....	42
2.1.13.5. Filtración directa. ....	43
2.1.13.6. Ventajas y desventajas de la filtración directa.....	43
2.1.14. Desinfección. ....	44
2.1.14.1 Etapas de la desinfección. ....	44
2.1.14.2. Factores de la desinfección. ....	44
2.1.14.2.1. Los microorganismos presentes y su comportamiento. ....	44
2.1.14.2.2. La concentración del desinfectante. ....	45
2.1.14.2.3. La temperatura.....	45
2.1.14.2.4. La naturaleza y calidad del agua. ....	45
2.1.14.2.5. pH. ....	45
2.1.14.2.6. Tiempo de contacto. ....	45
2.1.14.3. Variables controlables.....	45

2.2.14.4. Métodos de desinfección.....	45
3.Marco Metodológico.....	48
3.1 Marco metodológico. ....	49
3.1.1 Paradigmas.....	49
3.1.2. Enfoque Metodológico. ....	49
3.1.3. Métodos de Investigación.....	49
3.1.4. Categorías de análisis de la investigación. ....	50
3.1.5. Población y muestra.....	51
3.1.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos. ....	51
3.1.6.1. Coagulación. ....	53
3.1.6.2. Floculación.....	53
3.1.6.3. Sedimentadores. ....	54
3.1.6.4. Filtración.....	56
3.1.6.4.1. Características del proceso de filtración.....	56
3.1.6.4.2. Características del sistema de lavado. ....	56
3.1.6.4.3. Características del medio filtrante.....	56
3.1.6.5. Desinfección.....	57
3.1.7 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de los datos. ....	59
3.1.7.1. Coagulación / Mezcla Rápida: ....	61
3.1.7.2 Sedimentación:.....	62
3.1.7.3 Desinfección ....	62
Análisis de resultados. ....	63
4.1 Análisis de resultados.....	64
4.1.1. Coagulación.....	64
4.1.1.1. Dosificación de sustancias.....	64
4.1.1.2. Manejo y almacenamiento de sustancias ....	64
4.1.2. Evaluación de mezcladores (mezclador rápido).....	65
4.1.2.1. Geometría de la unidad. ....	65
4.1.2.2. Tiempo real de retención. ....	65
4.2. Floculador.....	66
4.2.1. Caudal de operación. ....	66
4.2.2. Cálculo tiempo teórico de retención.....	68

4.3.1. Características de la unidad. ....	71
4.3.3.4. Tiempo formación inicial del flóculo .....	74
4.3.3.5. Tamaño del flóculo producido. ....	75
4.3. Sedimentación .....	75
4.4. Filtración .....	77
4.4.1. Características del proceso filtración.....	77
4.4.1.1. Velocidad y caudal de filtración. ....	77
4.4.1.2. Calidad del filtro inicial. ....	79
4.4.1.3. Características del sistema de lavado .....	82
4.4.1.3.1. Expansión del medio filtrante .....	82
4.4.1.3.2 Duración del proceso de lavado. ....	82
4.4.1.3.3. Características del medio filtrante.....	82
4.4.1.3.4. Granulometría del medio filtrante.....	82
4.5. Desinfección.....	83
4.5.1. Dosis óptima de cloro.....	83
4.5.4. Características de las instalaciones de cloro.....	84
4.5.5. Criterios para evaluar la sala de cloro y almacenamiento de cilindros de cloro. ....	84
4.6. Presupuesto.....	84
5. Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	90
Referencias Bibliográficas.....	91
Anexos.....	94
Glosario.....	105



## Índice de tablas

Tabla #1. Posibles variables en el proyecto.....	50
Tabla #2. Tabla resumen del porcentaje de trazador y caudales.....	68
Tabla #3. Comparación entre el tiempo teórico y tiempo real, de la prueba de trazadores.....	70
Tabla #4. Tabla de significados .....	71
Tabla #5. Resumen de cálculos de la prueba de trazadores.....	71
Tabla #6. Módulo número 1.....	72
Tabla #7. Módulo número 2.....	72
Tabla #8. Módulo número 3.....	73
Tabla #9. Módulo número 4.....	73
Tabla #10. Módulo número 5.....	74
Tabla # 11. Tabla resumen.....	75
Tabla #12. Tanque número 1 .....	75
Tabla #13. Tanque número 2. ....	76
Tabla #14. Tanque número 3 .....	76
Tabla #15. Cloración del día 25/03/2022.....	84
Tabla #16. Indicador de pintura para módulos. ....	84
Tabla #17. Indicadores de pintura para las columnas y las columnas de los módulos .....	85
Tabla #18. Precio por horas, para pintura. ....	86
Tabla #19. Precio para materiales de techo. ....	86

## Índice de figuras

Figura #1. Distribución de los tamaños de las partículas en agua. ....	16
Figura #2. Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales. ....	21
Figura #3. Corrientes térmicas debidas agua fría.....	31
Figura #4. Corrientes térmicas debido al agua caliente. ....	32
Figura #6. Variación de $V_{sc}$ en función de (L) (2) .....	34
Figura #7. Variación de la eficiencia de decantación en placas con el tiempo de operación. ....	35
Figura #8. Decantador de placas con canaletas laterales de recolección de agua.....	36
Figura #9. Valores normales de materiales filtrantes.....	40
Figura #10. Clasificación de los filtros rápidos. ....	41
Figura #11. Filtro ascendente – descendente bajo presión vertical. ....	43
Figura #12. Propiedades de las diferentes presentaciones del cloro. ....	46
Figura #13. Equipo para la prueba de Jarras. ....	52
Figura #14. Clasificación en función de la calidad del agua producida .....	54
Figura #15. Agua cruda versus agua sedimentada para varios tipos de decantadores.....	55
Figura #16. Aplicación del cloro sumergido.....	58
Figura #17. Parámetros de calidad #1 .....	59
Figura #18. Parámetros de calidad #2.....	60
Figura #19. Concentración del trazador en el efluente de un reactor .....	61
Figura #20. Lavado del filtro #3 del día 14/03/2022 .....	79
Figura #21. Agua filtrada después del lavado en el tanque #2 del día 14/03/2022 .....	80
Figura #22. Lavado del Filtro #2 del día 25/03/2022 .....	80
Figura #23. Agua filtrada después del lavado en el tanque #1 del día 25/03/2022 .....	81
Figura #24. Lavado del filtro #4 del día 25/03/2022 .....	81
Figura #25. Agua filtrada después del lavado en el tanque #2 del día 25/03/2022 .....	82
Figura #26. Cloración. ....	83

## **Introducción.**

## Antecedentes

### Nacionales

La Evaluación preliminar hidráulica y operacional de la planta tratamiento de agua potable de la ciudad de Puntarenas, elaborado por Auris Mata Ureña de la Universidad de Costa Rica en el año mil novecientos noventa y nueve (1999), en la cual realiza una evaluación de la planta potabilizadora de Puntarenas, en la actualidad la planta ha sufrido modificaciones a lo que se estipula en la tesis, pero la metodología de análisis que se utilizó para la mezcla rápida, mezcla lenta, sedimentación, filtración y desinfección, corresponde a una idea general de cómo se debe realizar una evaluación, ya que usa como fundamentos la tecnología CEPIS, para su desarrollo. En la tesis se realizó una recolección y recopilación de diversa información con las cuales se comprenden las características del sistema, posteriormente se realiza un análisis de los datos obtenidos y para finalizar generar un diagnóstico del funcionamiento del sistema con el cual determinó diversos defectos en proceso de coagulación, ya que no se estaba empleando correctamente.

La Evaluación hidráulica y sanitaria del proceso de sedimentación de la planta potabilizadora de San Ramon de Alajuela, elaborado por Daniel Alexander Loría Ramírez, de la Universidad Latina de Costa Rica, del dos mil dieciocho (2018), menciona las diferentes pruebas que se van a realizar y el enfoque al cual se le está brindando en la parte de sedimentador, ya que en esta secciones se enfoca el proyecto, sin embargo también menciona las diversas pruebas que se realizan para evaluar los demás procesos de la planta, el proyecto además de esta diferencia posee diferente geografía, dosificaciones, fuente de agua, entre otras. La razón principal por la cual se generó este proyecto es para aportar soluciones a los diversos problemas presentes en la planta potabilizadora “por una mala práctica constructiva y de diseño que esta misma está presentando” (Loria, D. 2018, 9).

### Internacionales.

Evaluación de la eficiencia de los procesos de potabilización en dos plantas Aguaclara en Morocelí y San Matías, Honduras, elaborado por Mynor Roberto Estrada Méndez, elaborado en el 2016, en este trabajo se evalúa la eficiencia de la planta donde se aprecia los estudios para la determinación de “la remoción de Escherichia coli (E. coli), turbiedad, pH y conductividad eléctrica que se presenta en la planta” (Estrada, M. 2016, pág. 4), se analizó en el tanque de distribución, estableció los parámetros con la Organización Mundial de la Salud. Se determinó que ocasionaba una remoción completa de los coliformes, y en la “última llave de San Matías se logró apreciar E. Coli, y una medida de cloro libre de 0.07mg/L, valores por debajo de los recomendados por la OMS” (Estrada, M. 2016, pág. 4). Se concluyó que en la planta de San Matías los procesos de la planta sufren gran variabilidad por la falta de correlación, y para la planta en Morocelí el pH y la turbiedad fueron positivas, pero el cloro residual encontrado en el sistema negativo.

Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora el Dorado, (Bogotá D.C.) a través del análisis estadístico de series de tiempo, Carlos Alfonso Zafra y Tulio Alberto Sánchez, en el 2016, este documento menciona los diversos riesgos y enfermedades que se han distribuido desde el dos mil ocho (2008) hasta el dos mil diez (2010) debido a la calidad del agua, lo que presenta un problema de gran importancia para la población, se determina la localización de los poblados afectados, control de agua su tratamiento y demás. Se estipula que la normativa de la calidad es ineficiente, donde se logró evidenciar, y se analiza estadísticas en periodo de tiempo desde el dos mil cuatro (2004) hasta el dos mil quince (2015).

### **Planteamiento del problema de investigación**

¿Está teniendo un desempeño aceptable el sistema de tratamiento y suministro la planta de San Mateo de Alajuela?

La planta potabilizadora está compuesta por el desarenador, el mezclador hidráulico de caída libre, los cinco módulos (donde ocurre la floculación y el sedimentador), cinco filtros, tres tanques de lavado (en los cuales se deposita el agua filtrada), posteriormente la zona de desinfección y un tanque de almacenamiento antes de ser distribuido a la población; en la planta actualmente “los cinco módulos y filtros presentes no se encuentran en la capacidad de adquirir una cantidad equitativa de agua en cada uno de ellos” (Técnico, Iván Robles), lo cual impide que la planta trabaje a su máxima capacidad. Estos filtros deben estar en constante lavado para la extracción de los lodos, el proceso de lavado que ocurre es un proceso hidráulico donde se espera que se haga de manera automatizada, sin embargo, los filtros no están haciendo este proceso, lo cual genera que el módulo alcance los niveles máximos y que salga de servicio hasta que se realice el lavado de forma manual.

La planta potabilizadora por las situaciones del terreno donde se encuentra localizada debe adquirir el agua de dos fuentes superficiales diferentes, los procesos de dosificación para las diversas fuentes deben ser distintos lo cual no ocurre, se están aplicando las mismas cantidades de sustancias y la metodología que se tiene como guía, es la utilización de la dosificación que se realiza en la planta potabilizadora de Puntarenas.

Las plantas potabilizadoras requieren estar en un periodo constante de evaluación tanto hidráulico como sanitario, debido al tiempo y requerimientos que se solicitan para la ejecución de esta evaluación el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) no la ha vuelto a realizar; este tipo de evaluación es recomendable hacerla periódicamente, “lo ideal es generarlas aproximadamente cada cinco (5) años” (Ing. Leonardo Moya); este proyecto desarrollará y contemplará diferentes pruebas de campo (prueba de trazadores, calidad del agua de la etapa inicial de filtración, velocidad de lavado de filtro, duración del proceso de lavado, Evaluación de los dispositivos de regulación de caudal, entre otras), determinación de análisis con diversos cálculos para determinar las condiciones actuales, el estado actual del agua (el color, olor, pH, sabor, textura, entre otros), cada uno de los diferentes procesos individuales de la planta de tratamiento (coagulación mezcla rápida, floculación mezcla lenta, sedimentación, filtración y desinfección);

los resultados permitirán conocer el estado actual, en la cual se podrá apreciar la calidad y componentes que la población de San Mateo está consumiendo día tras día, donde se brindarán recomendaciones a mejorar y solucionar problemas presentes, en los cuales se puede apreciar que se le está realizando lavados muy frecuentes a los filtros, una de las principales razones por las cuales esto ocurre es por mucha acumulación de lodo lo cual puede ser ocasionado por un mal tratamiento del agua.

### **Hipótesis.**

En este trabajo final de graduación no es necesario realizar una hipótesis, ya que es un proceso más analítico en las fórmulas, pruebas y componentes que se vayan a utilizar están estipulados y no es un proceso investigativo; en el cual se debe corroborar el procedimiento que actualmente se está empleando con lo que dice la normativa y las limitaciones del país.



## **Objetivos.**

### **Objetivo general**

Evaluar el sistema hidráulico y sanitario de la planta potabilizadora de San Mateo de Alajuela.

### **Objetivo específico**

- Examinar los cinco procesos utilizados en la planta coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, con los procesos actuales de la planta, por ejemplo, exactitud, evaluación de las unidades de flujo laminar, eficiencia, determinación de condiciones hidráulicas, regulación de la velocidad agitación, entre otras.
- Generar soluciones a posibles inconvenientes que se puedan apreciar en la planta, si así lo requiere, con la utilización del Reglamento para la Calidad del Agua Potable No 38924-S, Evaluación de plantas de técnicas apropiada, el Manual III CEPIS: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, entre otros.
- Comparar si la planta potabilizadora está cumpliendo con las normativas y lineamientos del país, tomando en cuenta el decreto Reglamento para la calidad de agua potable No 38924-s, Reglamento para prestación de los servicios del AyA, Reglamento de normas técnicas y procedimientos para mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua No. 2001-175, entre otros
- Formular una presupuestación global a posibles soluciones que se encuentran en la planta, si lo requiere.
- Evaluar la calidad de agua que le está llegando a la población, el color, turbiedad, olor, entre otros, con la utilización de las diversas fichas técnicas presentes Manual III CEPIS: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, de las diferentes mediciones de turbiedad y la dosificación de cloro.

## **Justificación**

El agua es un recurso esencial para la supervivencia del ser humano, este componente requiere un tratamiento, ya que consumir este elemento directamente de ríos, lagos o mares no es adecuado de ingerir; por variedad de componentes que generan contaminación de este líquido como: el exceso de aluminio, hierro, coliformes fecales, pH, entre otros; que, en el futuro, si se consume en grandes dosis con mucha frecuencia agua contaminada provocaría un daño en la salud de los individuos o colectiva. Gracias al cuidado respectivo que se ha generado con el transcurso del tiempo se han podido eliminar enfermedades bacterianas, plagas, parásitos, patógenos, microorganismos y demás.

La planta potabilizadora de agua de San Mateo es de gran importancia para los sectores localizados a los alrededores, ya que el sistema recibe un caudal constante de veinticinco litros entre segundo (25 L/s) la cual abastece a los diferentes poblados pertenecientes al sector de San Mateo, Higuito, y el distrito de Desamparados (el centro), son localidades que dependen completamente de la planta para su consumo diario, incluso la planta potabilizadora por analizar está contemplada en un proyecto de interconexión con el poblado de Jesús María.

El agua que trata la planta potabilizadora corresponde a aguas superficiales que son abastecidas por el río Machuca y la Quebrada Los Mora, este tipo de sistema al adquirir este líquido de este tipo de fuente es necesario que posea un desarenador. En la época lluviosa la toma del río Machuca se obstruye por diversos componentes (por hojas, ramas, rocas, plástico, desechos orgánicos generados por animales en descomposición, entre otros) que impiden el paso del agua al sistema y el realizar su respectiva limpieza genera mucho riesgo a los encargados por lo cual se debe obtener agua de la quebrada Los Mora que se encuentra constantemente en riesgo de contaminación por un proyecto cercano a la quebrada.

La planta potabilizadora de San Mateo de Alajuela es una planta de tipo modular la cual fue puesta en operación en mil novecientos noventa y uno (1991), a esta planta se le realizó una ampliación en el año dos mil dieciocho (2018), donde la planta pasa de tener tres (3) módulos (floculación-sedimentación y filtración) y dos tanques de lavado, con los cuales trataba un caudal de quince litros entre segundo (15 l/s) posteriormente se agregaron dos (2) módulos y un tanque de lavado, para un total de cinco (5) módulos y 3 tanques de lavado, lo que permite que la planta procese veinticinco litros sobre segundo (25 L/s). La expansión de la planta potabilizadora

permitió que cada uno de estos módulos y filtros tengan una capacidad de cinco litros sobre segundo (5 L/s). En la actualidad los filtros no están procesando esa cantidad, los módulos que tratan menor cantidad produce una saturación de los otros módulos, lo que produce lavados con mayor frecuencia, adicionalmente el proceso de lavado debe ser automatizado para evitar la saturación del módulo y esto no está sucediendo de la forma correcta.

## **Alcance y limitaciones**

### **Alcance.**

- Realizar el estudio sanitario de los cinco procesos necesarios para una planta potabilizadora (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección). Realizando la prueba de trazadores, turbiedad inicial y final, lavado de filtros, calidad filtrante, dosificación de cloro y demás.
- Presupuestación preliminar de las mejoras potencialmente a realizar.
- Evaluar los coliformes fecales, exceso de cloro, pH, entre otros. Utilizando la dosificación de sustancias químicas.
- Determinar la condición hidráulica de la planta potabilizadora. Utilizando el capítulo 3 más específico el 3.4 de la evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada especificado las condiciones hidráulicas en las interconexiones y el 3.4.2 condiciones del mezclador hidráulico.
- Verificar el cumplimiento de las normativas nacionales de la planta, con sus respectivas pruebas de campo.

### **Limitaciones.**

- No realiza cálculos estructurales para la planta potabilizadora.
- No se incluirán planos estructurales de las mejoras potenciales.
- La información disponible por parte del AyA y por el proveedor de la planta. (Como el control de calidad del agua potable, información básica de la planta caudal, población, entre otros.)
- Fuentes de información con una presencia mayor de cinco (5) años de antigüedad.
- El no poder realizar inspecciones continuas o con mayor frecuencia a la planta potabilizadora.
- Calidad del agua cruda en la época de desarrollo del proyecto.

## **Impacto**

El principal beneficiado del proyecto a ejecutar es la planta potabilizadora de agua de San Mateo y la población beneficiada por este sistema, ya que se genera información acertada de las diversas dosis de coagulante que se deben utilizar para cada una de las fuentes que se introducen al sistema para su respectivo proceso de potabilización (en este caso específico de la planta potabilizadora de San Mateo sería del río Machuca y la quebrada Los Mora); además de la respectiva población que se alimenta del sistema, ya que está obteniendo un producto que cumpla con las normas del Ministerio de Salud de Costa Rica.

Adicionalmente con este proyecto se asegura una calidad constante del agua que obtendrá la población que se beneficia del sistema, ayudando a estas personas con una mejor calidad de vida con un flujo constante y calidad normada.

La verificación de la calidad del agua es un aspecto para la protección de la salud de las personas, si se llega a distribuir a la población el agua recogida directamente de los ríos, lagos, quebradas, pozos, manantiales, entre otros.

Las fuentes de agua superficiales son muy contaminadas por diferentes factores tanto naturales como artificiales (aluminio, desechos orgánicos, plástico, desechos industriales, y demás) que indican que no son adecuadas para el consumo humano directo, por este factor influye a la salud de las personas donde principalmente los coliformes fecales, exceso de cloro, aluminio, hierro, organismos patógenos, entre otros; algunos factores para identificar o apreciar que el agua no es ideal para su consumo son el color, el olor, sabor y pH del agua.

Las plantas de tratamiento de agua potable son un aspecto sumamente importante, se sabe que ayudan a erradicar infinidad de enfermedades como principal objetivo, “eliminar cualquier potencial riesgo para la salud de las personas” (acciona, 2020), sin embargo, otro beneficio que le genera a la población es en su economía y de desarrollo, ya que “En Costa Rica, el alcance de la población que recibe agua de calidad, potable y segura es de un 91.2%.” (Pensis, 2019), este aspecto ha ayudado el crecimiento de la población en el país, donde el Ministerio de Salud se encarga de “velar por el control y la calidad de agua, se designó mediante decreto ejecutivo al Laboratorio Nacional de Aguas” (Pensis, 2019), el gran abastecimiento que posee el agua potable en el país permite la expansión de los seres humanos por el mismo.

## **2. Marco teórico.**

## **2.1. Marco situacional.**

### ***2.1.1. Contexto geográfico.***

Este proyecto es dirigido a la planta potabilizadora que se encuentra ubicada en la provincia de Alajuela, principalmente en el cantón número cuatro San Mateo, en el distrito de San Mateo.

La planta potabilizadora de este sector abastece los sectores cercanos de la planta como lo son: San Mateo, Higuito y Desamparados (sector central).

### ***2.1.2. Historia de la planta.***

La planta de tratamiento de agua potable surge por la necesidad de mejorar el sistema de agua potable, el cual era operado por la Municipalidad de San Mateo, por un desabastecimiento de agua en el sector de San Mateo, en los últimos años de la década de mil novecientos ochenta (1980), lo que ocasiona un proyecto en el cual se toma como fuente principal el río Machuca para el abastecimiento del “déficit” encontrado en la zona, primeramente administrado por la municipalidad, que posteriormente lo asume el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (AyA). En el año mil novecientos noventa y uno (1991) se empieza la operación del proyecto (la planta potabilizadora), originalmente el proyecto estipula que la planta de tratamiento de agua potable debe tener una capacidad de quince litros entre segundo (15 L/s), por lo cual se toma la decisión de construir una planta tipo modular por la capacidad reducida que era necesaria en la zona, así como por la aplicación de una nueva tecnología desarrollada en el AyA, colocando tres (3) módulos donde cada uno posea una capacidad de cinco litros entre segundo (5 L/s). A finales de dos mil dieciocho (2018) se realiza una remodelación de la planta, adicionando dos módulos con sus respectivos filtros, para aumentar la capacidad de la planta a veinticinco litros entre segundo (25 L/s) con la misma ejecución donde cada módulo procese cinco litros entre segundo (5 L/s). La planta está compuesta por un desarenador encargado de separar las partículas contaminantes del agua, el mezclador hidráulico de caída libre en el cual ocurre el proceso de coagulación, los cinco módulos en los cuales está incorporado el proceso de floculación y sedimentación, cinco filtros que se encuentra sellado para una óptima filtración, tres tanques posteriores al filtro, posteriormente la zona de desinfección y un tanque de almacenamiento antes de ser distribuido a la población, el lavado del filtro es un proceso hidráulico el cual no requiere la intervención de operación.

## **2.2. Marco Teórico Conceptual.**

En el presente capítulo se desarrolla de una manera extensa, los diferentes términos mencionados en el capítulo uno (1) utilizados en el respectivo documento, para brindar una idea clara y concisa de cada uno de los diversos factores o términos que van a ser de suma importancia para el trabajo de investigación, esto con el fin de abarcar información de conceptos básicos, hasta los conceptos de mayor complejidad, llevando un orden lógico y abarcando lo más posible documentos relacionados al tema de las plantas potabilizadoras de agua.

### ***2.2.1. Agua potable.***

El agua potable es uno de los componentes esenciales y primordial para la vida de todo ser vivo (los organismos humanos), por su gran importancia para las personas es una prioridad transportar esta sustancia a todos los lugares posibles que posean viviendas o poblados, por lo tanto, es necesario contar con un buen abastecimiento de este líquido para que una localización produzca un crecimiento exponencialmente.

“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.” (Ministerio de Salud, 2021, pág. 9)

### ***2.2.2. Agua pura.***

El agua pura solo se puede obtener por laboratorio cuando esta se destila, se erradican todos los componentes presentes en este líquido hasta que solo queden dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno (H<sub>2</sub>O), el agua en esta forma carece completamente de sabor y olor, es imposible encontrarla en la naturaleza, y es dañina consumir este tipo de sustancia.

### ***2.1.3. Características del agua.***

**2.1.3.1 Físicas.** Son los aspectos que se pueden apreciar directamente gracias a los sentidos del ser humano (vista, olfato, gusto, entre otros), tiene una completa relación con la aceptación del agua para la población, entre las diferentes consideraciones para su respectiva aprobación son:

- Turbiedad.
- Color.
- Olor y sabor.



- Temperatura.
- Sólidos y residuos.
  
- Turbiedad.

En el agua se presenta la turbiedad por diversas partículas que se pueden localizar en mayor o menor medida en suspensión o integradas, las cuales son “(arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera... La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales)” (Vargas, 2004, p. 5).

La correcta forma de determinar la turbiedad del agua, es mediante el turbidímetro o nefelómetro, las unidades utilizadas por lo general son unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

- Color.

El color presente en el agua está directamente relacionada a la turbiedad, en la actualidad en el agua no se puede estructurar químicamente los responsables del color, esto se “atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera.” (Vargas, 2005, p.6).

- Olor y sabor.

El sabor y olor están directamente relacionados, donde se debe aceptar por parte del consumidor, algunos de los compuestos que pueden modificar esta característica del agua son posibles compuestos orgánicos derivados, algas, exceso de hierro, entre otros aspectos.

- Temperatura.

La temperatura presente en el agua ocasiona cambios retardantes o acelerantes en los distintos procesos que se requiere para la potabilización (floculación, sedimentación, filtración, entre otros).

- Sólidos y residuos.

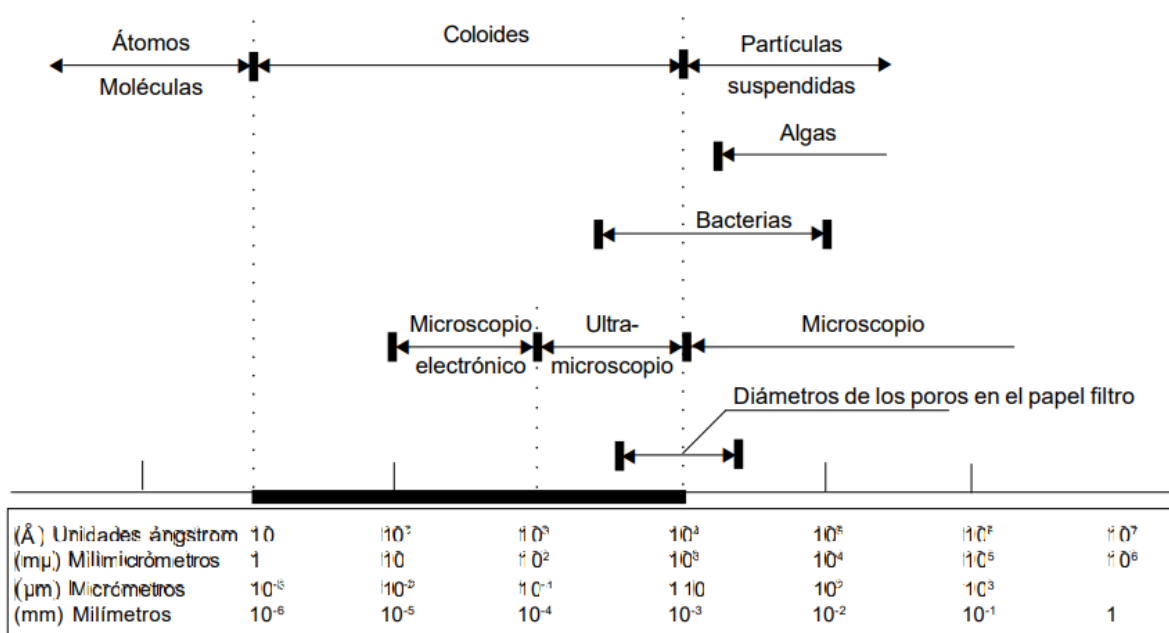
Son componentes que se encuentran suspendidos o disueltos en el agua, estos aspectos se obtienen al evaporar y secar la muestra de agua a altas temperaturas, las partículas están:

Disueltas “(hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.” (Barrenechea A., 2005, pág. 8).

Formando sistemas coloidales, “(1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.” (Barrenechea A., 2005, pág. 8).

Partículas suspendidas “(por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.” (Barrenechea A., 2005, pág. 8).

**Figura #1. Distribución de los tamaños de las partículas en agua.**



Nota. En la figura anterior se puede apreciar los diversos tamaños de las partículas que se encuentran en el agua. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 1 Aspectos Físicoquímicos de la calidad del agua, A. Barrenechea, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

**2.1.3.2. Químicas.** “El agua es considerada un disolvente universal, ya que es el líquido que más sustancias disuelve, cualidad vinculada a su condición de “molécula polar”” (Aguas Cordobess, desconocida). Esta mención indica que casi cualquier elemento encontrado en la tabla periódica es disuelto en esta sustancia.

- pH.

- Acidez.
- Alcalinidad.
- Dureza.
- Hierro.
- Manganeso.
- Arsénico.
- Conductividad.
- Aluminio.

- pH

El pH es una medida para definir la acidez o alcalinidad de las diferentes sustancias, las escalas para la medición del pH corresponden desde cero a catorce, en “las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.” (Vargas, 2004, p. 13), los rangos aceptados por el Ministerio de Salud entre seis y ocho unidades.

- Acidez.

La acidez en el agua es originada por diversas fuentes: ácidos orgánicos débiles, tales como CO<sub>2</sub> disuelto en ácido carbónico, ácido acético, y ácido tánico; ácido mineral fuerte, tal como sulfúrico y clorhídrico; y sales de metales de hierro, aluminio y manganeso. (Hanna, 2019)

- Alcalinidad.

El agua es un componente con la capacidad para neutralizar distintos tipos de ácidos, también se conoce como “La cantidad de Ácido por litro que se requiere para disminuir el pH a un valor aproximado de 4.3” (SUNASS, desconocida).

- Dureza.

“Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio” (Vargas 2004, pág. 29), el pH y la alcalinidad son componentes relacionado directamente con la dureza.

- Hierro.

Este tipo de elemento metálico se puede encontrar en las aguas subterráneas con mayor frecuencia, “Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.” (Vargas, 2004, pag.33), el exceso de esta sustancia en el agua produce un cambio de sabor al ser consumida por los seres humanos, si no es tratada puede llegar a los poblados lo que produce una obstrucción en las tuberías que distribuyen este servicio, “producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca.” (Vargas, 2004, pág. 33), este elemento es representado con la simbología Fe.

- Manganeso.

El elemento metálico el manganeso representado con la simbología Mn, es un componente que al consumirlo en exceso provoca daños en la salud, “grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central” (Vargas, 2004, pág. 35), el manganeso no es común encontrarlo en el agua, pero cuando se encuentra genera el crecimiento de bacterias que forman depósitos insolubles.

- Arsénico.

El arsénico es elemento que se representa con la simbología As, es un componente de suma toxicidad para el ser humano, “La toxicidad del As es compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto” (Vargas, 2004, pág. 20), en la actualidad no se tiene un conocimiento preciso si produce un daño a la salud, sin embargo, se sospecha que genera efectos cancerígenos.

- Conductividad.

El agua es un componente que en su estado destilado (agua pura) es muy mala conductora de electricidad, sin embargo, el agua en su naturaleza posee iones disueltos en ella, lo que genera una conductividad, ya que “la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones” (LENNTECH, Desconocida)

- Aluminio.

Este componente se representa en la tabla periódica como el Al, este es un componente metálico, se puede encontrar en distintas nacientes de agua (las superficiales y subterráneas), esta sustancia se encuentra disuelta en el agua, cuando ocurren concentraciones altas de aluminio, generan un bajo nivel de pH. Ciertas instituciones indican los niveles que deben estar presentes en el agua, “En el caso del aluminio, la OMS ha establecido un valor guía de 0,2 mg/L para aguas de consumo humano.” (Vargas. 2004, pág. 18).

**2.1.3.3. Biológicas.** Las características biológicas en el agua son de gran importancia y se debe tener un control muy estricto, ya que generalmente son las que transmiten posibles enfermedades patógenas. Los diferentes tipos de aguas superficiales poseen una mayor exposición que las aguas subterráneas al estar expuestas a “factores que pueden alterar su calidad biológica y ocasionar cambios simples o complejos y con diferentes niveles de intensidad.” (Aurazo, 2005, pág. 59) en los cuales se pueden encontrar:

- Coliformes fecales.
- Coliformes totales.
- Escherichia coli.
- Bacterias.
- Virus.
- Protozoarios.
  
- Coliformes fecales.

Todos los mamífero y aves (animales de sangre caliente) poseen este tipo microorganismos, principalmente se encuentra ubicado en el tracto digestivo de las familias anteriormente mencionadas (perros, gatos, vacas, ser humano, loros, águilas, entre otra infinidad de especies), es expulsado de los diferentes cuerpos cuando los organismos expulsan sus desechos (defecar). Este tipo de microorganismo no es patógeno para las personas, sin embargo, si la sustancia química que se ha utilizado para erradicar este microorganismo es el cloro, según el Ministerio de Salud de Costa Rica, rige que el rastro de los coliformes fecales en el agua para poder considerada potable debe ser cero (0).

Las diferentes aguas, tanto superficiales como subterráneas van a tener presencia de coliformes fecales, son pocas las excepciones y bastante escaso encontrar algunas nacientes que

no posean ningún rastro de este tipo de microorganismos, principalmente esto se puede apreciar por épocas como la época seca.

- Coliformes totales.

“Los coliformes totales se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento.” (Mora, 2003, pág. 12)

- Escherichia coli.

La Escherichia coli, es un microorganismo que se ubica únicamente en las personas, este es un tipo de coliforme fecal que los seres humanos los expulsan, si se encuentra esta sustancia en el agua la desinfección debe ser más estricta, ya que si la persona está enferma va a contagiar o enfermar a las personas que consuman esa agua.

Escherichia coli pertenece a la familia de las enterobacterias, se caracteriza por poseer las enzimas -galactosidasa y -glucuronidasa. Se desarrolla a 44 - 45 °C en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptofano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 °C pero no a 44– 45 °C y algunas no liberan gas. No produce oxidasa ni hidroliza la urea. (Mora, 2003, pág. 13)

- Bacterias.

“Las bacterias son organismos microscópicos unicelulares. Se encuentran entre las formas de vida más antiguas conocidas en el planeta.” (Bush, 2020) Este tipo de organismo se beneficia de los ambientes acuáticos en su gran mayoría, se debe considerar que existen bacterias que son patógenas y ocasionan enfermedades graves o leves tanto para los animales como para los seres vivos.

- Virus.

“Los virus son agentes infecciosos no celulares que pasan a través de filtros que impiden el paso de las bacterias. Son parásitos intracelulares obligados.” (Mora, 2003, pag. 16)

- Protozoarios.

“Los protozoos son organismos microscópicos que habitan en ambientes húmedos o medios acuáticos.” (Cecap,2021), son componentes unicelulares (posee núcleo, citoplasma...), este tipo de microorganismos se reproducen de manera sexual o asexual. “La mayor parte de los protozoarios son beneficiosos, pues contribuyen a preservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos” (Aurazo, 2005, pág. 63), esto se puede cumplir cuando existe un equilibrio, ya que si este organismo se reproduce incontroladamente va a generar alteraciones graves en el ecosistema.

**Figura #2. Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales.**

<b>Bacterias</b>	<i>Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni.</i>
<b>Virus</b>	<i>Enterovirus, Rotavirus, Adenovirus.</i>
<b>Protozoos</b>	<i>Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.</i>
<b>Helmintos</b>	<i>Ascaris, Trichuris, Taenia.</i>
<b>Cyanobacterias</b>	<i>Anabaena, Microcystis.</i>

Nota. En la figura anterior se pueden apreciar las diferentes presencias patógenas que se pueden localizar en el agua, expresamente biológicas. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 2 Aspectos Biológicos De La Calidad Del Agua, M. Aurazo, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

#### **2.1.4 Cloro.**

El cloro es un elemento químico, que se representa por la simbología presente en la tabla periódica de Cl, utilizado en la desafección para erradicar los componentes patógenos presentes en el agua.

#### **2.1.5. Calidad del agua.**

“El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso.” (Barrenechea, 2005, pág. 4) lo anteriormente mencionado hace referencia que no todas las fuentes de aguas superficiales o subterráneas son útiles para la industria de potabilización, por su localización, alta inversión de tratamiento, y demás inconvenientes.

**2.1.5.1. Fuentes de Abastecimiento de agua.** Un diseño de abastecimiento de agua potable debe tener una fuente de agua como un elemento primordial en su diseño, en su respectivo análisis se debe tomar en consideración el caudal necesario para el abastecimiento, la presión para alcanzar a la población, cantidad, calidad, sistema de abastecimiento entre otros aspectos.

El sistema de abastecimiento es de gran importancia, ya que depende de la ubicación en la cual se encuentre la fuente de abastecimiento de agua, se determina cuál se va a utilizar el de bombeo o gravitatorio, esto al estar vinculado directamente a la topografía del terreno.

**2.1.5.1.1 Sistema por gravedad (gravitatorio).** El sistema por gravedad es el método que transporta el agua sin la necesidad de utilizar objetos electromecánicos como las bombas para la movilización del agua por medio de la gravedad, este procedimiento tiene sus limitaciones, ya que solo es eficaz cuando la fuente se encuentra a la altura adecuada.

**2.1.5.1.2. Sistema por bombeo.** Este método depende completamente de la energía, para movilizar el agua, principalmente se utiliza para elevar el agua de lugares inferiores, este tipo procedimiento para la movilización posee sus limitaciones, ya que si el equipo va a fallar posee su costo económico para repararlo o sustituirlo, si hay un fallo energético en la zona se corta el suministro, sin embargo principalmente las diferentes fuentes de abastecimiento se pueden considerar como: manantiales, pozos, nacientes, que corresponden subterráneas.

**2.1.5.1.3. Aguas superficiales.** Este tipo de agua se encuentran en la superficie y se encuentra distribuida en la tierra emergida, “La que se origina a partir de precipitaciones atmosféricas, afloramientos de aguas subterráneas que discurren superficialmente (ríos, lagos, quebradas).” (La Gaceta 170, 2021, pág. 2).

**2.1.5.2.3. Aguas subterráneas.** Estas aguas se encuentran ubicadas por debajo de la superficie terrestre, este tipo se creó por la filtración en el terreno de distintas aguas (lluvias, nieve, infiltración de lagunas, ríos, entre otros), que se llegan a acumular en el interior del terreno.

### **2.1.6 Planta potabilizadora.**

Conjunto de infraestructura, equipamiento y demás elementos necesarios para ejecutar los procesos de potabilización del agua proveniente de una o varias fuentes de abastecimiento; incluye todo proceso de pretratamiento, tratamiento y postratamiento, así como tratamientos especiales o no convencionales requeridos para suministrar agua para abastecimiento poblacional. También, incluye la correcta disposición de los desechos que



se generen de cada unidad de tratamiento, cumpliendo con la legislación nacional y normativa técnica aplicable. (Junta Directiva, 2017, pág. 4).

**2.1.6.1. Plantas de filtración rápida.** Las plantas de filtración rápida se les conoce por la gran velocidad que posee el tratamiento del agua, donde se puede apreciar “como los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>. d” (Vargas, 2004, pág. 110), este aumento produce una reducción considerable del tiempo de las operaciones de los filtros, ya que se reduce de días a solo minutos donde “se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio, también de las dimensiones de los mismos. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos” (Vargas, 2004, pág. 110).

**2.1.6.1.1. Clasificación de plantas de filtración rápida.**

- Sistemas de tecnología convencional
- Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS
- Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados.
- Sistema de tecnología convencional

Este sistema posee las cualidades de utilizar componentes de gran extensión para cada unidad de los procesos de una planta potabilizadora, para optimizar los diversos sistemas convencionales “fueron agregando equipos mecánicos y actualmente la mayor parte de estos sistemas son mixtos, están constituidos por unidades hidráulicas y mecánicas.” (Vargas, 2005, pag. 117) la adición mencionada anteriormente es con el fin de aumentar la producción de agua potable, ya que la población va creciendo con el transcurso del tiempo y este servicio debe abastecer a toda la comunidad.

- Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS

Con la adición del sistema CEPIS/OPS a las plantas potabilizadoras el tamaño se reduce considerablemente, donde “Las unidades son de alta tasa, ocupan una extensión que constituye el 25 % o 30 % del área que ocupa un sistema convencional de la misma capacidad.” (Vargas, 2005, pág. 119), esta reducción se puede deber a la utilización de los “floculadores verticales que por su mayor profundidad ocupan menos área que los horizontales y permiten compactar mejor el sistema” (Vargas, 2005, pág. 119).

En este sistema se pueden apreciar ventajas que menciona el Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005) como son: su eficiencia, facilidad constructiva, operación y mantenimiento, más económica (gracias a la reducción de espacio constructivo), y la confiabilidad).

- Sistema de tecnología patente.

“Esta tecnología es importada de los países desarrollados y se caracteriza por considerar gran cantidad de equipos y alto grado de complejidad en las soluciones.” (Vargas, 2005, pág. 122), con este conjunto de maquinaria se disminuye los tiempos de los procesos de la planta potabilizadora y adquiere la posibilidad de captar un mayor caudal.

#### ***2.1.6.1.2. Plantas de filtración lenta.***

La filtración lenta en arena es un método conveniente y de bajo costo para tratar el agua superficial que no esté altamente contaminada. Durante el tratamiento se retienen partículas coloidales y las sustancias orgánicas son biodegradadas. Una limitación operativa de los filtros lentos de arena es que la turbiedad natural del agua no debe exceder 60 U.N.T. porque se produciría rápidamente un taponamiento del filtro con la consiguiente ineficiencia del filtrado. (Mora, 2003, pág. 9).

#### ***2.1.7. Captación.***

“Son aquellas concebidas y construidas para utilizar los escurrimientos y depósitos superficiales tales como ríos, arroyos, lagos y embalses, ya sean naturales o creados por el hombre” (La Gaceta No.154, 2001, pág. 2001)

Una captación bien definida puede “solucionar así un problema importante para su potabilización e incluso reducir los costos del tratamiento.”

#### ***2.1.8. Desarenador.***

El desarenado consiste en una estructura continua a la captación del agua superficial hacia una planta de tratamiento de agua potable, el cual consiste en la remoción de sustancias de gran tamaño presentes en el líquido que principalmente se encuentran suspendidos. Una definición con mayor detalle es la siguiente: “Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.” (Organización Panamericana de la Salud, 2005, pág. 3).

### **2.1.9. Coagulación.**

“Consiste en añadir al agua determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de material coloidal no sedimentable” (Bermúdez, 2009, p. 65), la sustancia que se le agrega en Costa Rica para que se produzca la coagulación es el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , puede cambiar dependiendo de los componentes del agua por tratar, sin embargo, son principalmente hierro y sales de aluminio.

El proceso de la coagulación genera dos fenómenos:

El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla. (Barrenechea, 2004, pág. 153).

“El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.” (Barrenechea, 2004, pág. 153).

**2.1.9.1 Tipos de colides de acuerdo con su comportamiento en el agua.** “Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua. Se caracterizan por ser termodinámicamente inestables con respecto a la formación de grandes cristales no coloidales.” (Barrenechea, 2005, pág. 156)

**2.1.9.2 Propiedades de los coloides.** “Las principales propiedades que definen el comportamiento de los coloides en el agua son las cinéticas, ópticas, de superficie y electrocinéticas.” (Barrenechea, 2005, pág. 159).

#### ***2.1.9.2.1. Comportamiento de las propiedades cinéticas.***

- Movimiento browniano.
- Difusión.
- Presión osmótica

- Movimiento browniano.

Las diversas partículas coloidales sufren un movimiento constante e irregular, donde en la teoría se puede explicar como el “resultado del bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido” (Barrenechea, A. 2005, pág.160), este movimiento en específico se ocasiona por un aumento de la temperatura en el líquido. Sin embargo, este “movimiento browniano solo puede explicar la estabilidad de las dispersiones coloidales más pequeñas.” (Barrenechea, A. 2005, pág.160).

- Difusión.

Es un fenómeno de las partículas coloidales que se dispersan en el sistema hidráulico, “Como es de esperarse, la velocidad de difusión es menor que la velocidad media de las partículas en el movimiento browniano.” (Barrenechea, A. 2005, pág.160).

- Presión osmótica.

“A la presión hidrostática necesaria para detener el flujo osmótico, que alcanza así un estado de equilibrio, se le denomina presión osmótica.” (Barrenechea, A. 2005, pág.161). con la ayuda de este comportamiento es posible calcular el número de partículas y peso promedio en el sistema coloidal.

**2.1.9.2.2. Propiedad óptica, Efecto Tyndall-Faraday.** “El efecto Tyndall-Faraday es un fenómeno por el cual las partículas coloidales provocan la dispersión de la luz cuando esta pasa a través de una suspensión coloidal.” (Barrenechea, A. 2005, pág.161), este tipo de fenómeno determina el tamaño de las partículas.

**2.1.9.2.3. Propiedad de superficie: adsorción:** “Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa.” (Barrenechea, A. 2005, pág.161). Por su gran tamaño y capacidad de absorción se debe realizar un tratamiento químico previo para la sedimentación de las partículas coloidales.

**2.1.9.2.4. Propiedad electrocinética: electroforesis.** Esta consiste en “pasar una corriente directa a través de una solución coloidal, experimento que permite observar que las partículas son atraídas por el electrodo positivo o por el negativo, lo que demuestra que poseen carga eléctrica.” (Barrenechea, A. 2005, pág.162), este aspecto permite comprender la estabilidad de las dispersiones de los coloides.

### **2.1.9.3. Sustancias químicas empleadas en la coagulación**

**2.1.9.3.1 Coagulante.** “Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloro-sulfato férrico.” (Barrenechea, 2005, pág. 174)

**2.1.9.3.2 Sulfato de aluminio.** El sulfato de aluminio es un componente formado ejemplificado con la fórmula de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  lo que genera una lectura de tris(tetraoxosulfato (VI)) de dialuminio, esta sustancia es utilizada como coagulante, en el proceso de coagulación de una planta potabilizadora de agua.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina. (Barrenechea, 2005, pág. 175).

**2.1.9.3.3. Cloruro férrico  $\text{FeCl}_3$ .** Este elemento posee “forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente, de fórmula teórica  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .” (Barrenechea, 2005, pág. 176), adicionalmente posee una gran sensibilidad a la temperatura la cual reacciona a los 34 °C.

**2.1.9.3.4. Sulfato ferroso  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .** “El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900  $\text{kg/m}^3$ ” (Barrenechea, 2005, pág. 176).

**2.1.9.3.5. Sulfato ferroso  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .** “es un polvo blanco verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000  $\text{kg/m}^3$ . Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez.” (Barrenechea, 2005, pág. 177).

**2.1.9.4. Mecanismos de coagulación.** “El tratamiento del agua será necesario alterar esta fuerza iónica mediante la adición de sales de aluminio, de hierro, de polímeros sintéticos que provoquen el fenómeno de la coagulación” (Barrenechea, 2005, pág. 175)

El Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005), menciona la existencia de cuatro mecanismos que se consideran como el resultado de la coagulación los cuales son: “Compresión de capa difusa, absorción y neutralización, barrido, absorción y formación del puente.

### **2.1.10. Floculación.**

Según la Real Academia Española define al término de floculación como: “Agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal, en general por la adición de algún agente.” (Rae, 2021), en el movimiento de las partículas de colisión existen tres mecanismos que se generan:

- Floculación pericinética o browniana
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad
- Sedimentación diferencial.

Donde según el Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada define a los procesos anteriores de floculación como:

- “Floculación pericinetica o browniana. Se debe a la energía térmica del fluido.”
- “Floculación ortocinetica o gradiente de velocidad. Se produce en la masa del fluido en movimiento.”
- “Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.”

**2.1.10.1. Parámetros operacionales de la floculación.** Los principales parámetros de este proceso son los gradientes de velocidad y el tiempo de retención. Se determina que “los gradientes óptimos de la velocidad para la floculación varían entre 20 y 75 s<sup>-1</sup> y el tiempo de retención entre 10 y 30 min dependiendo de la calidad del agua” (Vargas, L., 2005, pág. 281).

**2.1.10.2. Aspectos que influyen.** Según el capítulo #6 del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005), establece que los factores que afectan la eficiencia del proceso de floculación son:

- La naturaleza del agua.
- La variación del caudal.
- La intensidad de agitación.
- El tiempo de floculación.
- El número de compartimentos de la unidad.

**2.1.10.2.1. Naturaleza del agua.** El agua cruda posee características que influyen directamente en el proceso de floculación, estas características se pueden considerar como la alcalinidad, el pH y la turbiedad. “La concentración y la naturaleza de las partículas que producen la turbiedad también tienen una notable influencia en el proceso de floculación” (Vargas, L., 2005, pág. 282). Esto hace representación a una proporcionalidad de la velocidad para la concentración de flóculos y la concentración de partículas. Donde se hace referencia la “regla general, es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas.” (Vargas, L., 2005, pág. 282).

**2.1.10.2.2. Influencia del tiempo de floculación.** “La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo, bajo determinadas condiciones existen un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos” (Vargas, L., 2005, pág. 282).

**2.1.10.2.3 Influencia del gradiente de velocidad.** “Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad” (Vargas, L., 2005, pág. 285). Entre los factores que afectan la resistencia, se pueden encontrar el tamaño, forma, compactación, y demás.

**2.1.10.2.4. Influencia de la variación del caudal.** “Las variaciones del caudal influyen directamente los tiempos de residencia y gradiente de velocidad.” (Vargas, L., 2005, pág. 286).

**2.1.10.3 Floculadores.** Las formas en las cuales se puede clasificar los floculadores son: mecánicos o hidráulicos, esto es “de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua.” (Vargas, L., 2005, pág. 288). La clasificación de estos flóculos corresponde a los floculadores de contenido sólido y floculadores de potencia o de disipación de energía.

**2.1.10.3.1. Floculadores de contacto de sólidos.** Estos floculadores como su nombre lo indica es un floculador que son controlados por la concentración de sólidos; “Normalmente forman parte de los tanques de decantación de flujo vertical y constituyen unidades relativamente compactas.” (Vargas, L., 2005, pág. 289).

**2.1.10.3.2. Floculadores de potencia.** “Las partículas son arrastradas por el flujo de agua a través del tanque de floculación sin que prácticamente exista concentración de sólidos” (Vargas, L., 2005, pág. 290).

### **2.1.11. Sedimentación.**

La sedimentación es el proceso que poseen las partículas en el agua para asentarse o acumularse en el fondo del recipiente o lugar donde se encuentre el líquido, esto por consecuencia de la gravedad que posee el planeta, estas partículas para poder ser afectadas por los efectos gravitacionales deben tener un peso específico mayor que el fluido.

“La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación.” (Maldonado, 2005, pág., 3), esto se puede comprobar cuando hay un exceso de partículas sedimentadas se aprecian con los sentidos de la vista y tacto, por la razón de que son visibles a simple vista, cuando es al tacto el tamaño de la partícula lo permite por su gran tamaño.

**2.1.11.1. Tipos de sedimentación:** Las partículas poseen diferentes características (forma, tamaño, densidad y demás.) lo que genera la siguiente segmentación:

- Sedimentación de partículas discretas.
- Sedimentación de partículas de floculación.
- Sedimentación por caída libre e interferida.

- Sedimentación de partículas discretas.

Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta. (Maldonado, 2005, pág. 3).

- Sedimentación de partículas de floculación.

Partículas floculantes son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas forma, tamaño, densidad sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculante o decantación al proceso de depósito de partículas floculantes. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida. (Maldonado, 2005, pág. 4).

- Sedimentación por caída libre e interferida.

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. (Maldonado, 2005 pág. 4).



### 2.1.11.2. Factores que influyen el proceso de sedimentación.

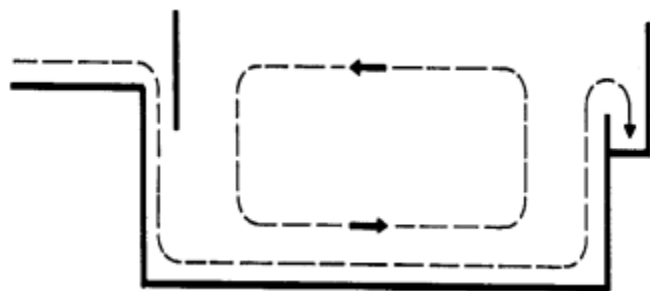
- Caída libre
- Condiciones hidráulicas.
- Factores externos.

- Caída libre.

Es cuando el agua posee una baja concentración de partículas las cuales se depositan sin interferencia en el fondo del líquido sin entrar en contacto o colisionar entre sí, además las “variaciones de concentración de partículas o de temperatura producen variaciones de densidad del agua y originan corrientes cinéticas o térmicas” (Maldonado, V., 2005, pág. 18).

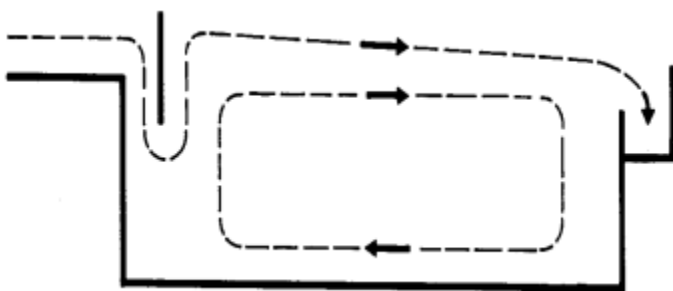
La sedimentación que ocurre en el agua se afecta por la temperatura del agua, cuando el agua es fría “la masa de agua se desplaza por el fondo” (Maldonado, V., 2005, pág. 18), lo cual se apreciada en la figura #2, cuando el agua se calienta “se produce el fenómeno inverso” (Maldonado, V., 2005, pág. 18) mencionado al anterior, esto se puede observar en la figura #3.

**Figura #3. Corrientes térmicas debidas agua fría.**



Nota. En la imagen anterior se puede apreciar la corriente que adquiere el agua y los sedimentos cuando la temperatura presente en esta es baja. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 7, Sedimentación, Maldonado V., 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

**Figura #4. Corrientes térmicas debido al agua caliente.**



Nota. En la imagen anterior se pueden apreciar la corriente que adquiere el agua y los sedimentos cuando la temperatura presente en este líquido es alta, expresamente biológicas. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 7, Sedimentación, Maldonado V., 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

- Condiciones hidráulicas

Se puede encontrar las diversos criterios y parámetros en las: zona de sedimentación, zona de entrada y zona de salida.

Zona de sedimentación. “En esta zona se debe tener un número de Reynolds lo más bajo posible y el número de Froude más elevado para tender a un flujo laminar y estabilizar el flujo.” (Maldonado, V., 2005, pág. 19). Posteriormente la corriente que posee el agua no debe poseer ningún tipo de obstrucción.

Zona de entrada. “Es un conjunto de estructuras que debe permitir una distribución uniforme del flujo de agua hacia la zona de sedimentación” (Maldonado, V., 2005, pág. 20).

Zona de salida. “Permitir una recolección uniforme de agua sedimentada a una velocidad tal que evite arrastrar flocúlos en el efluente.” (Maldonado, V., 2005, pág. 20).

- Factores externos. “Son los que tienen más influencia en la eficiencia de un sedimentador o decantador.” (Maldonado, V., 2005, pág. 20).

### **2.1.11.3. Clasificación de unidades.**

#### **2.1.11.3.1. Sedimentación y decantadores estáticos.**

- Criterios generales.

El proceso de sedimentación o decantación es un proceso que se ocasiona por caída libre, el movimiento que se ocasiona es uniforme y una velocidad constante, estas partículas “se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido ( $V_H$ ) y su propia velocidad de sedimentación ( $V_S$ )” (Maldonado, V., 2005, pág. 23).

- Componentes de una unidad.

Los diferentes factores que forman parte de la sedimentación consisten en: “zona de entrada y distribución de agua, zona de sedimentación propiamente dicha, zona de salida o recolección de agua y zona de depósitos de lodos.” (Maldonado, V., 2005, pág. 23).

- Tipos de unidades.

Unidades de flujo horizontal. “Estos sedimentadores se clasifican, de acuerdo con la forma de su planta, en rectangulares, circulares y cuadrados.” (Maldonado, V., 2005, pág. 25).

Unidades de flujo vertical. Las unidades poseen forma cilíndrica, “La entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente. La recolección del agua sedimentada se realiza en la parte periférica superior de la unidad.” (Maldonado, V., 2005, pág. 30).

Unidades de flujo helicoidal. “Para tratar aguas con alto contenido de materiales en suspensión o flóculos con alta velocidad de sedimentación” (Maldonado, V., 2005, pág. 30).

#### **2.1.11.3.2 Decantadores dinámicos.**

- Criterios generales.

“Se requiere una alta concentración de partículas para incrementar las posibilidades de contacto en un manto de lodos que tiene una concentración de partículas de 10 a 20 % en volumen.” (Maldonado, V., 2005, pág. 31).

- Componentes de una unidad.

Los diversos componentes que se encuentran en los manto de lodos consta con: “Sistema de entrada de agua, zona de formación de manto de lodos, zona de clarificación, sistema de recolección de agua clarificada y zona de concentración de lodos.” (Maldonado, V., 2005, pág. 32).

#### **2.1.11.3.3. Decantadores laminares.**

- Teoría de la sedimentación laminar.

“Se considera que tres son los efectos que favorecen la remoción de las partículas en este tipo de unidades: aumento del área de sedimentación, disminución de la altura de caída de la partícula y régimen de flujo laminar”. (Maldonado, V., 2005, pág. 39).

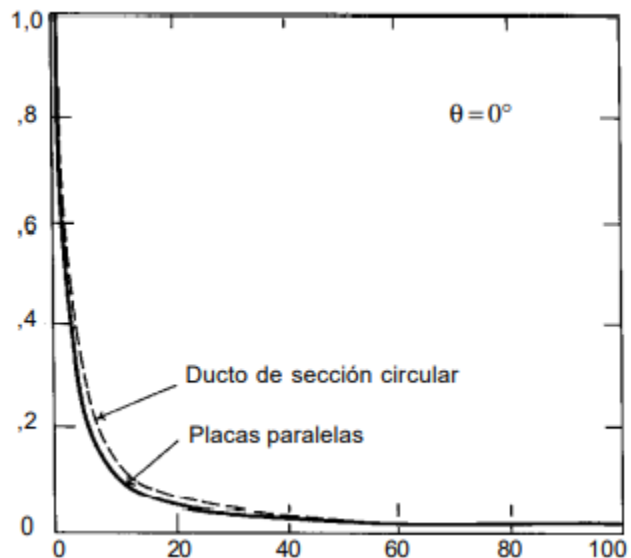
- Trayectoria de una partícula en placas paralelas.

“Cuando una partícula asciende con una velocidad media, arrastrada por el flujo entre dos placas paralelas que forman un ángulo con la horizontal, la velocidad resultante que determina la trayectoria de la partícula puede descomponerse.” (Maldonado, V., 2005, pág. 41)

- Factores que influyen en el proceso.

“Influencia de L y  $\theta$  en la eficiencia del decantador en la cual se representa con la ecuación  $\frac{V_{sc}}{V_0} = \frac{Sc}{\text{Sen } \theta + L \text{ Cos } \theta}$ , para los dos tipos de sedimentadores, el valor de ( $V_{sc}$ ) disminuye rápidamente con el aumento de (L).” (Maldonado, V., 2005, pág. 43).

**Figura #6. Variación de  $V_{sc}$  en función de (L) (2)**



Nota. En la figura anterior se aprecia las variaciones de la muestra ( $V_{sc}/V_o$ ) en función de (L), cuando el ángulo es 0 y un valor fijo de  $V_o$ , esta gráfica es utilizada para ductos de secciones circulares y placas paralelas (cuando el valor de ( $V_{sc}$ ) disminuye, aumenta rápidamente el (L) como a alcanzar un ( $L+20$ )). Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 7, Sedimentación, Maldonado V., 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

#### **2.1.11.3.4. Características del sedimentador.**

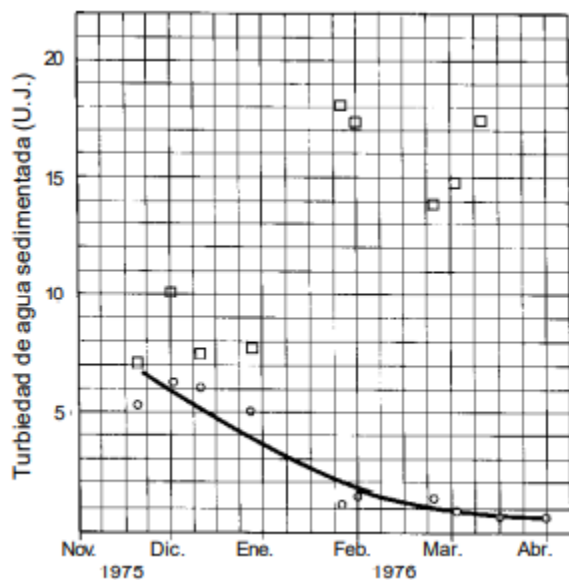
- Tiempo de operación del sedimentador.

“Presentaron eficiencias iniciales de 60 % (turbiedades de 6 UNT), que se incrementaron en el lapso de tres meses hasta alcanzar valores de 95 % (turbiedades de una UNT), en los que permanecían con un valor asintótico” (Maldonado, V., 2005, pág. 41)

- Módulos

Existen diferentes tipos de módulos que todos poseen una velocidad crítica definida por el parámetro de  $S = \frac{V_{sc}(\text{Sen}\theta + \text{cos}\theta)}{V_o}$ .

**Figura #7. Variación de la eficiencia de decantación en placas con el tiempo de operación.**



Nota. En la imagen anterior se aprecian resultados de ensayo realizado en Cuenca, Ecuador, en plantas piloto, que son datos utilizados para fines comparativos. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 7, Sedimentación, Maldonado V., 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

#### **2.1.11.3.5. Tipos de decantadores laminares.**

- Flujo horizontal.

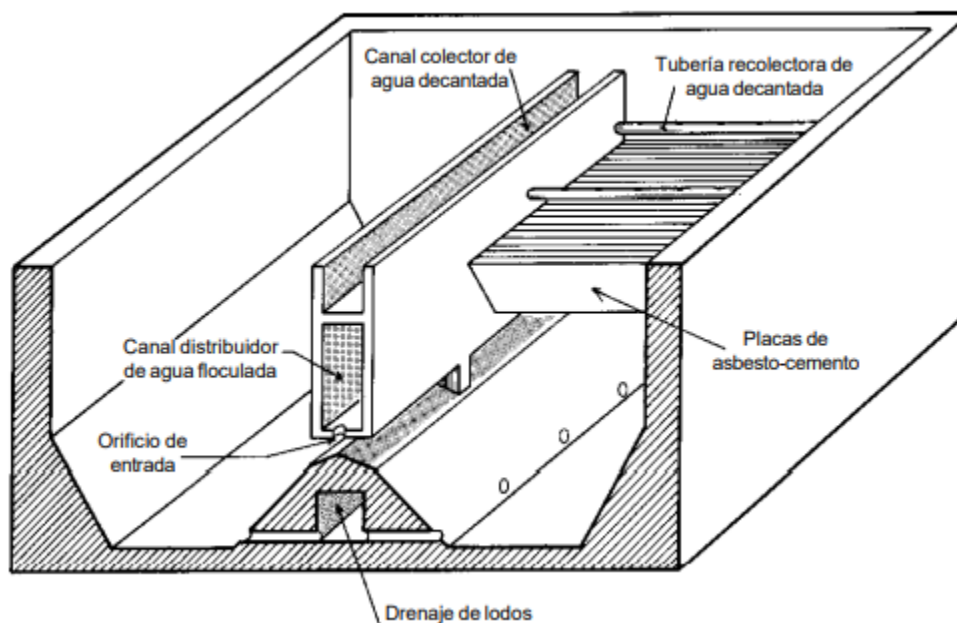
Este decantador “representa un sedimentador laminar con láminas ligeramente inclinadas con un ángulo de 5°” (Maldonado, V., 2005, pág. 54)

Este tipo de sedimentadores de flujo horizontal (máxima eficiencia), “pero con láminas planas paralelas inclinadas para obtener la pendiente necesaria de escurrimiento de flóculos” (Maldonado, V., 2005, pág. 54).

- Flujo inclinado.

Este tipo de decantadores es uno de los más usados, “en la parte inferior del decantador se presenta una zona de distribución de agua. En la parte media existen módulos inclinados con un ángulo de 60°. El agua decantada se recolecta lateralmente en la parte superior” (Maldonado, V., 2005, pág. 55).

**Figura #8. Decantador de placas con canaletas laterales de recolección de agua**



Nota. En la ilustración anterior se puede apreciar decantadores y tolvas para los lodos. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 7, Sedimentación, Maldonado V., 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

### **2.1.12. Filtración.**

“Es un proceso que consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso.” (Chulluncuy, 2011, p. 163). La filtración consiste como anteriormente se citó en la erradicación de sustancias suspendidas y coloidales en el agua.

#### **2.1.12.1. Factores que influyen en el proceso de filtración.**

**2.1.12.1.1. Características de la suspensión.** Tomando de referencia el capítulo #9 del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005), establece que el efecto de remoción de las partículas por el medio filtrante está directamente relacionado a diversas características las cuales son:

- Tipo de partículas suspendidas.
- Tamaño de partículas suspendidas.
- Densidad de partículas suspendidas.

- Resistencia o dureza de las partículas suspendidas (flóculos).
- Temperatura del agua por filtrar.
- Potencial zeta de la suspensión.
- El pH del afluente.

- Tipo de partículas suspendidas.

La filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de tratamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de un pretratamiento con un coagulante de una sal de hierro o aluminio. (Maldonado, 2005, pag. 113).

- Tamaño de partículas suspendidas.

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de 1  $\mu\text{m}$ , el cual genera menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. (Maldonado, 2005, pág. 113).

- Densidad de partículas suspendidas.

“Cuanto mayor sea la densidad de las partículas suspendidas, mayor será la eficiencia de remoción de las partículas de tamaño superior al tamaño crítico, mencionado anteriormente.” (Maldonado, 2005, pág. 113).

- Resistencia o dureza de las partículas suspendidas (flóculos).

La dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, pues los flóculos débiles tienden a fragmentarse y penetrar fácilmente en el interior del medio filtrante, lo que favorece el traspaso final de la turbiedad límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor. (Maldonado, 2005, pág. 114).

- Temperatura del agua por filtrar.

El aumento de temperatura conduce a una eficiencia mayor, pues se tiene un aumento de energía termodinámica en las partículas del agua y, consecuentemente, la difusión se vuelve un mecanismo importante cuando se tienen partículas suspendidas menores de un micrómetro. (Maldonado, 2005, pág. 114).

- Potencial zeta de la suspensión.

“Cuando las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante tienen potencial zeta del mismo signo, la interacción entre las capas dificulta la adherencia, lo cual reduce la eficiencia de remoción.” (Maldonado, 2005, pág. 115).

- El pH del afluente.

El pH indica la capacidad de intercambio de las partículas suspendidas, donde los valores de pH inferiores a 7,0, disminuye el intercambio de cationes y aumenta el intercambio de aniones sobre las superficies positivas; mientras que, para valores de pH superiores a 7,0, se produce un aumento en el intercambio de cationes y una disminución en el intercambio de aniones sobre las superficies negativas. (Maldonado, 2005, pág. 115).

**2.1.12.2. Características del Medio filtrante.** Donde se destacan las siguientes características:

- Tipo del medio filtrante.
  - Características granulométricas.
  - Peso específico.
  - Espesor de la capa.
- 
- Tipo del medio filtrante.

El medio filtrante debe ser escogido de acuerdo con las características del agua que se desea filtrar y cuáles componentes se desean extraer del líquido, esto es diferente para las plantas potabilizadora de agua, porque las fuentes de agua que adquieren poseen distintas componentes. Posteriormente se debe tener en consideración “la duración de la carrera de filtración (capacidad de retención) y la facilidad de lavado” (Maldonado, 2005, pág. 116), que son componentes más enfocados en el lecho filtrante, donde se debe poseer un conocimiento de la granulometría y el peso específico del medio en los cuales se debe comprender la cantidad “mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad” (Maldonado, 2005, pág. 116).

Ejemplos de diversos medios filtrantes que se puede encontrar en las diferentes plantas potabilizadora de agua son: la arena, donde “a pesar de producir un efluente de mejor calidad, la arena de granulometría menor presenta una carrera de filtración más corta que la de granulometría



mayor.” (Maldonado, 2005, pág. 116), la colocación de dos medios filtrantes los cuales están constituidos por antracita y arena, el cual es “desde todo punto de vista, superior a la filtración en medios constituidos únicamente por arena” (Maldonado, 2005, pág. 117), esta afirmación expuesta por el ingeniero Víctor Maldonado, se encuentra respaldado por las publicaciones del Water Research Asociation, ubicado en Inglaterra.

Las consideraciones para determinar cuál tipo de medio filtrante es mejor utilizar en cada planta potabilizadora respectivamente para el proceso de filtración, depende de las siguientes características como: “calidad deseada para el efluente, los costos y la facilidad de adquisición de los materiales en el mercado, y la existencia de personal calificado para operar las instalaciones de filtración” (Maldonado, 2005, pág. 117), estas son esenciales para la buena eficiencia de la planta potabilizadora, sin embargo es necesario mencionar que no son las únicas características a tener en cuenta al momento de determinar el lecho filtrante (son las de mayor importancia, pero no las únicas), también se debe apreciar las características granulométricas.

- Características granulométricas.

El lecho filtrante que se utilice debe tener su granulometría detallada y tomando en consideración los aspectos mencionados en el Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005) que son los siguientes: Tamaño efectivo donde “el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10 %.”, Coeficiente de uniformidad (CU) “es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondientes a 60 % y el tamaño de los granos correspondiente a 10 %”, la forma de los granos normalmente utilizados, tamaño mínimo “tamaño por debajo del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante” y tamaño máximo “tamaño por encima del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante”.

- Peso específico.

El peso específico (Pe) del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupan los granos.

**Figura #9. Valores normales de materiales filtrantes.**

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de esfericidad</b>	<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arena	0,75 - 0,80	2,65 - 2,67
Antracita	0,70 - 0,75	1,50 - 1,70
Granate	0,75 - 0,85	4,00 - 4,20

Nota. En la imagen anterior se presenta los materiales filtrantes con su respectivo coeficiente de esfericidad y peso específico de los materiales filtrantes más usuales. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 9 filtración, A. Barrenechea, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

- Espesor de la capa.

El espesor que se utiliza en una planta potabilizadora de agua potable varía respectivamente de que lecho filtrante se esté utilizando para el proceso de filtrado, como anteriormente se menciona existen varios tipos de filtros disponibles en el mercado que se pueden utilizar lo que provoca un cambio en el espesor como el siguiente:

La experiencia ha demostrado que existe una relación entre el espesor de la capa de arena y la de antracita en un filtro dos medios; en general, el espesor de la capa de antracita representa de 60 a 80 %; y la arena, de 20 a 40 % del espesor total del medio filtrante. De este modo, un medio filtrante de 70 cm de espesor tendrá aproximadamente 50 cm de antracita y 20 cm de arena. (Maldonado, 2005, pág. 119).

### **2.1.12.3. Tipo de unidades de filtración.**

**2.1.12.3.1. Clasificación.** Los diferentes filtros se tienden a clasificar con los siguientes parámetros “el lecho filtrante, el sentido del flujo durante la filtración, la forma de aplicar la carga de agua sobre el medio filtrante y la forma de control operacional.” (Maldonado, 2005, pág. 126).

**Figura #10. Clasificación de los filtros rápidos.**

Parámetro de clasificación			
Lecho filtrante	Sentido del flujo	Carga sobre el lecho	Control operacional
Simple (arena o antracita)	Descendente	A gravedad	Tasa constante y nivel variable
Lechos dobles o múltiples	Ascendente	A presión	Tasa constante y nivel constante
	Ascendente-descendente		Tasa declinante

Nota. En la figura anterior se representa las diferentes alternativas para cada uno de los lechos filtrantes que se clasifican en los filtros rápidos. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 9 filtración, V. Maldonado, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

**2.1.13.3.2. Filtración por gravedad.** La filtración por gravedad es un método que solo se puede utilizar mediante la gravedad, “El factor económico es la variable que define su preferencia de uso.” (Maldonado, 2005, pág. 126), la filtración puede ser de flujo ascendente o descendente y filtración constante o declinante.

- Filtración ascendente.

Este tipo de filtro presenta ventajas de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas. (Maldonado, 2005, pág. 127).

En el Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada indica las diferentes características comunes que este filtro como son la tasa de filtración: 120 a 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, fondo de los filtros: tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas son los más comunes, distribución de agua a los filtros: caja provista de vertederos, de la cual parte tuberías individuales o tuberías individuales provenientes de medidores y reguladores del caudal.

- Filtración descendente.

“Los filtros descendentes por gravedad eran diseñados para funcionar únicamente con tasa constante, y generalmente iban provistos de dispositivos automáticos de control de caudal y nivel.” (Maldonado, 2005, pág. 127).

- Filtración ascendente – descendente.

La idea de realizar la filtración ascendente y descendente surgió después de constatar la posibilidad de fluidificación del medio filtrante al momento de la filtración ascendente y del consecuente perjuicio de la calidad del agua filtrada. (Maldonado, 2005, pág. 128).

“Las ventajas de la filtración ascendente son más confiables considerando la dificultad de encontrar en las plantas de tratamiento personal con una adecuada cultura de operación” (Maldonado, 2005, pág. 128).

#### **2.1.12.4. Medios filtrantes**

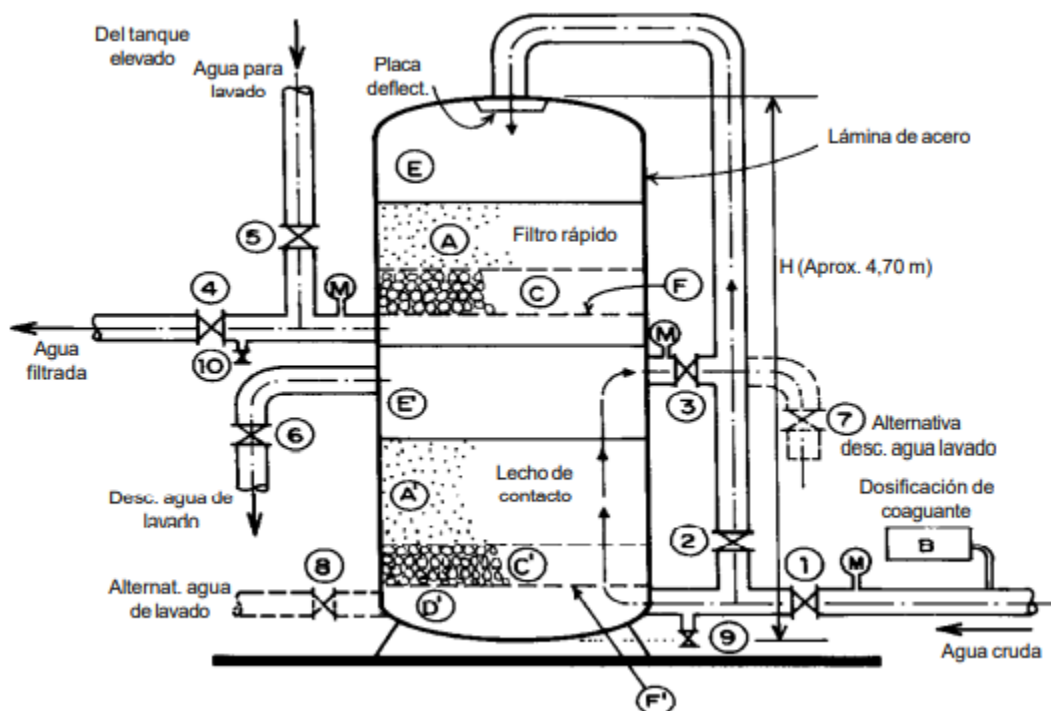
**2.1.13.4.1. Filtros de lecho simple.** Este proceso se puede ejemplificar por el movimiento de las partículas, las moléculas con mayor peso o de mayor tamaño se dirigen al fondo del recipiente y las de menor se quedan en suspendidas en la superficie, la “medida que el flóculo penetra dentro del lecho, encuentra poros más y más grandes por donde puede pasar con más facilidad.” (Maldonado, 2005, pág. 140)

**2.1.13.4.2 Filtros de lecho múltiple.** “Consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya con la profundidad, de forma que los flóculos puedan penetrar y encontrar el medio más fino en las capas inferiores del filtro y el más grueso en las capas superiores.” (Maldonado, 2005, pág. 141)

#### **2.1.13.4.3 Filtración a presión.**

Siempre que las características operacionales y las del medio filtrante y de la suspensión sea semejantes, la filtración rápida bajo presión poco difiere de la realizada por gravedad. La filtración rápida bajo presión se realiza en tanques de lámina de acero y puede ser de flujo ascendente, descendente con medios filtrantes constituidos por una o más capas y ascendente-descendente (Bi-Flow y superfiltro). (Maldonado, 2005, pág. 141)

**Figura #11. Filtro ascendente – descendente bajo presión vertical.**



Nota. En la ilustración anterior se aprecia un filtro de flujo a baja presión. Extraído del, Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 9 filtración, V. Maldonado, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

**2.1.13.5. Filtración directa.** “La solución adecuada para tratar aguas superficiales de baja turbiedad y color es aquella conocida como filtración directa.” (Maldonado, 2005, pág. 143)

**2.1.13.6. Ventajas y desventajas de la filtración directa.** El ingeniero Víctor Maldonado, expresa las ventajas y las desventajas que posee este método al ser utilizado en las diversas plantas potabilizadoras de agua, las ventajas son las siguientes:

El costo de construcción de la planta de tratamiento puede disminuir hasta en 50 % con respecto al de una planta convencional, menor costo de operación y mantenimiento, reducción sustancial del consumo de coagulante, menor volumen de lodo producido en la planta, facilidad en el tratamiento de agua cruda con baja turbiedad. (Maldonado, 2005, pag. 143)

Las desventajas que hace mención el ingeniero corresponden a:

Dificultad en el tratamiento de agua con alto contenido de color o turbiedad, necesidad de monitoreo continuo o control riguroso de los principales parámetros de calidad del agua cruda y tratada, el tiempo de retención total para el tratamiento es relativamente corto, lo que implica que debe reaccionarse rápidamente ante las modificaciones de calidad del agua cruda, posibilidad de paralización temporal de la planta, debido a errores en la dosificación de coagulante. (Maldonado, 2005, pág. 143)

#### **2.1.14. Desinfección.**

La desinfección es el último proceso que ocurre en una planta potabilizadora en el tratamiento de agua, antes de ser distribuida a la respectiva población, la cual “consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos” (Chulluncuy, 2011, p. 165), este proceso debe asegurar la seguridad a las personas que vayan a obtener este producto, esto se puede confirmar con la siguiente cita:

“La desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.” (Barrenechea, 2005, pág. 155).

**2.1.14.1 Etapas de la desinfección.** En el capítulo #10 del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005), hace referencia a las etapas y sustancias químicas utilizadas en la desinfección, las cuales son: “la penetración de la pared celular y la reacción con las enzimas, inhibiendo el metabolismo de la glucosa y, por tanto, provocando la muerte del organismo.”

#### **2.1.14.2. Factores de la desinfección.**

**2.1.14.2.1. Los microorganismos presentes y su comportamiento.** Los microorganismos presentes en el agua poseen gran importancia para este proceso, ya que todos los microbios presentes en este líquido, poseen una estructura diferente en su composición lo que indica que la membrana que debe atravesar el desinfectante, (en Costa Rica el más utilizado es el cloro, representado por la simbología Cl), es de mayor importancia la estructura molecular de cada microorganismo a la cantidad presente en el fluido, “el número de microorganismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección.” (Barrenechea, 2005, pág. 157).

**2.1.14.2.2. La concentración del desinfectante.** “La concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua.” (Barrenechea, 2005, pág. 157).

**2.1.14.2.3. La temperatura.** La temperatura es un proceso que influye directamente en la destrucción de los componentes patógenos, la concentración de desinfectante que se utiliza en este método varía con la temperatura, que lleva a la conclusión que a mayor temperatura menor cantidad de desinfectante se debe utilizar, lo cual viceversa a menor temperatura, por el motivo que el calor aumenta la movilidad las partículas y acelera el proceso.

**2.1.14.2.4. La naturaleza y calidad del agua.** Si en el agua persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos en los procesos previos a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o compuestos que confieren sabor u olor al agua, muchos de ellos desagradables, lo que cambiaría su calidad organoléptica. (Barrenechea, 2005, pág. 158).

**2.1.14.2.5. pH.** El pH en el agua es una forma para determinar los microbios presentes en la misma ya que “los valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso” (Barrenechea, 2005, pág. 158), esto se interpreta, porque casi ningún organismo o ser vivo puede habitar y existir en un ambiente tan extremo como lo son un pH tan elevado de trece (13) o el caso contrario que se reduzca a uno (1).

**2.1.14.2.6. Tiempo de contacto.** El componente desinfectante actúa de una mejor forma cuando posee un mayor tiempo de contacto con el organismo patógeno (microorganismos).

**2.1.14.3. Variables controlables.** Según Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada (2005) indica que las variables que se puede determinar en el proceso son: “la naturaleza y concentración del desinfectante, el grado de agitación al que se somete el agua y el tiempo de contacto entre los microorganismos y el desinfectante”. Estas acciones son componentes que el técnico encargado determina y debe poseer el conocimiento para ejecutar un correcto proceso de desinfección.

#### **2.2.14.4. Métodos de desinfección.**

- Desinfección por el calor:
- Desinfección por cloración.
- Desinfección por radiación ultravioleta.
- Desinfección por filtración lenta.
- Desinfección por ozono.

- Desinfección por el calor:

Los microorganismos poseen una gran sensibilidad a las altas temperaturas, “la ebullición del agua es muy efectiva para su eliminación” (Barrenechea, 2005, pag 165), este es el motivo por el cual el hervir agua es el método casero seguro para reducir la concentración de microorganismo en este líquido.

- Desinfección por cloración.

“El cloro es utilizado en un gran porcentaje en los sistemas de abastecimiento de agua por sus características de eficiencia para la destrucción de organismos patógenos y por sus propiedades residuales” (Marín, 2007, pág. 38), este proceso de desinfección posee la ventaja que el cloro permanece en el agua durante todo traslado del líquido, lo que ocasiona que no requiera puntos de posdesinfección.

**Figura #12. Propiedades de las diferentes presentaciones del cloro.**

Nombre y fórmula	Nombre comercial	Características	% Cloro	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cloro gas Cl <sub>2</sub>	Cloro gaseoso	Gas a presión	99.5%	Muy buena	Gas altamente tóxico	Cilindros de 68 kg y 907 Ton.
Hipoclorito de sodio NaClO	Blanqueador líquido	Solución líquida amarillenta	1 a 15% máximo	Baja 2 a 4% por mes	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas
	Por electrólisis en sitio	Solución líquida amarillenta	0.1 – 0.6%	Baja	Oxidante	Cualquier volumen
Hipoclorito de calcio Ca(ClO) <sub>2</sub>	HTH	Polvo, granular y tabletas	Polvo 20-35% Granulado 65-70% Tabletas 65-70%	Buena 2-2.5% por año	Corrosivo	Latas de 1.5 kg, tambores 45-135 kg.

Nota. La imagen anterior es un resumen de los diferentes tipos de cloro que se utilizan para este proceso y sus principales características. Desinfección del agua: sistemas utilizados en el AyA, L Marín, 2007. Editorial, Revista del instituto costarricense de acueductos y alcantarillados, <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.%20Sistemas%20utilizados%20en%20AyA.pdf>



“El cloro líquido envasado a presión ( $\text{Cl}_2$ ), hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ), hipoclorito de calcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ), son los productos que el AyA utiliza por cuestión de costos, facilidad de operación y demás motivos.” (Marín, 2007, pág. 39)

- Desinfección por radiación ultravioleta.

Este método de desinfección consiste en que “las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre los microorganismos y los virus, de esta manera los destruye en corto tiempo.” (Marín, 2007, pág. 37), como lo indica su nombre por proceso no es necesario la utilización de productos químicos, sin embargo, una consecuencia es que el proceso “la luz ultravioleta no deja efecto residual en la red, por lo que se hace necesario contar con un sistema de posdesinfección que asegure ese efecto residual” (Marín, 2007, pág. 37).

- Desinfección por filtración.

“La filtración es muy efectiva en la retención de los microorganismos grandes, como las algas y diatomeas; pero los olores y sabores asociados a ellos no son eliminados a menos que se consideren otros procesos específicos para este fin.” (Barrenechea, 2005, pag 165)

- Desinfección por ozono.

“El ozono es un gas ligeramente azul, de olor característico, que se puede percibir después de las tempestades. Es poco soluble en el agua y muy volátil.” (Barrenechea y Vargas, 2005, pág. 169)

El ozono tiene un alto poder oxidante, esto lo convierte en excelente destructor de los microorganismos. Dentro de sus ventajas está el poco tiempo de contacto y su concentración son bajos en relación con el cloro. La desventaja es que no proporciona un residual estable. (Marín, 2007, pag. 37).

### **3.Marco Metodológico.**

### **3.1 Marco metodológico.**

#### ***3.1.1 Paradigmas.***

El agua, es un recurso primordial para el crecimiento de la población, el crecimiento humano en cualquier parte del país, sin este líquido es prácticamente imposible que una comunidad crezca; sin embargo, para que sea disponible para el consumo del ser humano debe ser tratada por una planta potabilizadora, para no generar enfermedades por los microorganismos patógenos u otras afectaciones por la presencia de otros contaminantes físicos y químicos.

No obstante el agua no es un recurso inagotable y se consume con el transcurso del tiempo, lo que genera la necesidad de buscar nuevas fuentes de aguas cuando las actuales sean insuficientes, lo que producirá una búsqueda excesiva de aguas subterráneas siendo que este tipo de agua muy posiblemente va a estar contaminada por sustancias como hierro, aluminio, e incluso encontrar microorganismos patógenos que no se puedan remover con los métodos actuales, lo que puede generar enfermedades, eso indica que se debe generar una conciencia en las generaciones futuras y presente de la utilización del agua.

#### ***3.1.2. Enfoque Metodológico.***

El método que hace referencia este proyecto es el método cuantitativo, el cual se basa en la medición numérica, esto se representa en las diversas pruebas de laboratorio que se deben realizar, en ellas si se obtiene un dato erróneo se poseerán incongruencias en los resultados (lo cual genera una causa y efecto, inadecuado en el proyecto), para el bienestar del trabajo se debe poseer especial cuidado al momento de extraer de los datos.

#### ***3.1.3. Métodos de Investigación.***

En el proyecto a desarrollar se emplea la utilización del método de investigación experimental, que es enfocado en el cuasiexperimento, por el motivo que este proyecto se deben realizar experimentaciones a una muestra específica, la cual debe realizar diversas pruebas de laboratorio para determinar que la planta potabilizadora esté cumpliendo con la normativa que exige el Ministerio de Salud y el Reglamento para la Calidad del Agua Potable No 38924-s, por lo cual se debe tomar muestras en campo para elaborar diversas experimentaciones como la prueba de trazadores, la dosificación de sustancias químicas, la prueba de jaras, y demás métodos.

### 3.1.4. Categorías de análisis de la investigación.

**Tabla #1. Posibles variables en el proyecto.**

Variables	Variable independiente	Herramientas por utilizar	Variable dependiente
Evaluar la calidad de agua que le está llegando a la población, el color, turbiedad, olor, entre otros.	Necesidad de cambio del suministro de agua superficial	Utilizando la prueba de dosificaciones, y respetando las estipulaciones del Ministerio de Salud el No 38924-s Reglamento para la calidad del agua	Cumplir con los parámetros estipulados por el ministerio de salud, los cuales indican que la turbiedad debe ser menor de 5 UNT (recomendado 1 UNT), pH entre los 6 a 8 valores de pH, cloro residual libre valor máximo de 0.6mg/L, valor deseable 0.3 mg/L, y demás.

Variables	Variable independiente	Herramientas utilizar	por	Variable dependiente
Comparar si la planta potabilizadora está cumpliendo con las normativas y lineamientos del país	La utilización de una dosificación incorrecta, revisiones de la infraestructura periódicas.	Se utiliza la documentación dosificaciones utilizadas con mayor frecuencia y la utilización de la norma. No 38924-s Reglamento para la calidad del agua y Reglamento de normas técnicas y procedimientos para mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua No. 2001-175.	la	Cumplir con las normas del país; incumplimiento de los artículos publicados en La Gaceta No 2001-175. como el artículo 40, 53, 50, 68 y demás que nos indican los tiempos periodo ideales en los que se debe realizar limpieza, inspecciones, reconstrucciones como periodo de tiempo máximo.

Nota. Se aprecia posibles variable que pueden afectar el proyecto. De fuente propia.

### ***3.1.5. Población y muestra.***

La población la cual se ve afectada por este proyecto será la planta potabilizadora de San Mateo de Alajuela, utilizan diversas muestras del agua recolectada en el mismo sitio.

### ***3.1.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.***

La instrumentación que se realiza en el proceso del proyecto, depende de la parte experimental a la cual se quiere completar, se inicia el proceso con una inspección inicial, en las cuales se debe obtener los diferentes tipos de datos: recopilar información en la planta, recorrer la planta y llenar el anexo A, recopilar e interpretar los datos de producción y elaborar un diagnóstico preliminar llenando el anexo B.

Para las condiciones hidráulicas de la planta potabilizadora se va a realizar la prueba de trazadores con la cual permite encontrar el tiempo de retención, distribución de caudales y las características hidráulicas de los floculadores, sedimentadores y filtros, utilizando la sustancia sal como trazador.

Esta prueba consiste en términos muy generales en agregar una sustancia (el trazador), en el afluente del tanque que se va a analizar, al poseer una dosificación de la sustancia (la sal) se puede comprender cómo se está comportando el proceso de floculación, sedimentación y filtración.

En la evaluación sanitaria para los diversos procesos de coagulación, floculación y sedimentación se realiza la prueba jarras.

El equipo de la prueba de jarras consiste en utilizar diferentes dosificaciones del polímero o coagulante colocado en seis jarras, (dependiendo de la capacidad del equipo), lo que permite la reducción de los coloides en suspensión y diferentes componentes orgánicos. Esta prueba es necesaria para determinar la dosificación óptima del coagulante (sulfato de aluminio) en la planta.

**Figura #13. Equipo para la prueba de Jarras.**



Nota. Este equipo posee capacidad para seis recipientes, Fuente propia.

De acuerdo con el capítulo 3 del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, presenta los márgenes para el comportamiento de las unidades de la mezcla rápida que se van a realizar en el proyecto:

#### **3.1.6.1. Coagulación.**

##### 1. Geometría de la Unidad

Este ensayo consiste en analizar si las unidades están correctamente proyectadas, la forma de confirmar este tipo de geometría es apreciar que el resalto que se genera al pie de la rampa y cómo el coagulante se está distribuyendo uniformemente a todo el ancho del resalto.

##### 2. Tiempo real de retención

La forma de proceder este tipo de prueba, obtener volumen el volumen de resalto y caudal real que está ingresando en el momento a la planta.

#### **3.1.6.2. Flocculación.**

##### 1. Unidades hidráulicas (pantallas de flujo horizontal.)

##### 2. Caudal de operación.

Para poder ejecutar esta prueba se requiere conocer el caudal de operación de la unidad.

“Cuando hay una sola unidad, el caudal de operación será igual al caudal de operación de toda la planta, pero cuando se tienen varias unidades operando en paralelo, será necesario efectuar una prueba de distribución de caudales aplicando trazadores”

##### 3. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad

Esta prueba consiste en la precisión del tiempo real de retención de cómo se efectúa mediante la aplicación de trazadores.

##### 4. Unidad de flocculación hidráulica

El objetivo por el cual se realiza la prueba es determinar el gradiente de velocidad con que trabaja cada tramo del flocculador.

##### 5. Tiempo de formación inicial del flóculo.

Esta prueba tiene como finalidad calcular la duración que demora el flóculo en empezar a formarse. La forma de generar esta prueba es extraer la muestra de agua observarla contraluz, en los cuales se aprecian los primeros indicios de formación de los flóculos.

#### 6. Tamaño del flóculo producido

Se calcula el tamaño del flóculo que se forma en la unidad de floculación; la forma en la cual se debe realizar la prueba es en distintos vasos de vidrios se toman dos muestras a la salida de la red de la planta, con los cuales determina el tamaño del flóculo producido.

### 3.1.6.3. Sedimentadores.

#### 1. Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada.

En este proceso se trata de analizar la calidad de agua producida en las unidades de sedimentación, según los datos de la operación. La forma de generar esta experimentación es agrupando los datos de la turbiedad del agua sedimentada en rangos predeterminados y se estima su frecuencia de presentación anual.

**Figura #14. Clasificación en función de la calidad del agua producida**

<b>Eficiencia</b>	<b>Turbiedad del agua decantada (UNT)</b>
Excelente	< 5
Muy buena	5 - 10
Buena	10 - 15
Regular	> 15

Nota. Estos parámetros son esenciales para la ejecución de la prueba eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 3. Evaluación de plantas convencionales y tecnología apropiada, CEPIS, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

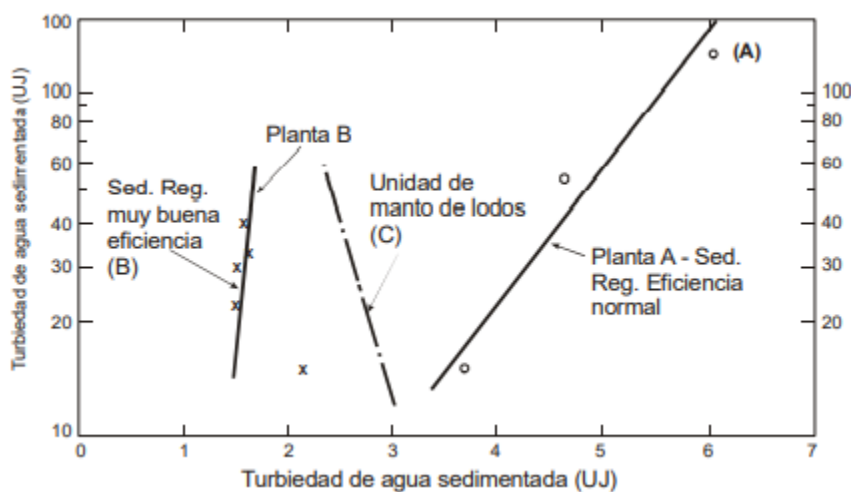
#### 2. Eficiencia en función de la calidad del agua cruda



En este procedimiento se determina la eficiencia de una unidad de sedimentación y decantación en comparación al agua cruda.

Para la correcta ejecución de la prueba se debe agrupar los datos del agua cruda (turbiedad o color) en la imagen siguiente y encontrar los datos de calidad correspondiente al agua sedimentada.

**Figura #15. Agua cruda versus agua sedimentada para varios tipos de decantadores.**



Nota. Estos parámetros son donde se deben agrupar los datos del agua cruda para compararlo en el agua sedimentada. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 3. Evaluación de plantas convencionales y tecnología apropiada, CEPIS, 2005, Editorial. Centro Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

### 3. Zona de entrada

La zona de entrada posee una compuerta por la cual entra todo el caudal a la planta, se debe verificar que la compuerta de entrada cumpla con las dimensiones establecidas las cuales son: “0,25 metros por 0,25 metros, el área, 0,0625 metros cuadrados, y el radio hidráulico (A/p), 0,083 metros.” (CEPIS, 2005, Pag. 164) lo que permite calcular la velocidad de entrada, ya que se conoce el caudal de entrada y el área.

### **3.1.6.4. Filtración.**

#### ***3.1.6.4.1. Características del proceso de filtración.***

##### 1. Velocidad y caudal de filtración

Analizar si la batería de filtros se encuentra en funcionamiento con la tasa declinante y si la relación de la velocidad máxima de operación y la velocidad media es la adecuada para que el filtro puede generar agua de buena calidad.

##### 2. Calidad del filtrado inicial

Localizar el comportamiento del filtro al principio del proceso de filtración y calcular el tiempo que demora en obtener la turbiedad normal, posteriormente esta prueba también es útil para la determinación del comportamiento del medio filtrante. La forma en que se realiza la prueba es después de que se realiza un lavado se debe tomar una muestra cada minuto por quince minutos.

##### 3. Duración de las carreras de filtración

“Esta determinación se efectúa analizando la bitácora o el formulario de operación de los filtros.” (CEPIS, 2005, Pág. 178)

#### ***3.1.6.4.2. Características del sistema de lavado.***

##### 1. Expansión del medio filtrante

Evaluación del porcentaje que incrementa el espesor del lecho filtrante cuando se ocasiona un lavado (en la duración del proceso del lavado). La forma en la cual se ejecuta esta prueba es la siguiente, antes que empezar el lavado se introduce la varilla metálica con cajitas soldadas, después de tres minutos la retira lentamente para determinar cuántas cajas se llenaron.

##### 2. Duración del proceso de lavado

En esta experimentación se estima la duración óptima que debe ejecutarse el lavado de un filtro.

#### ***3.1.6.4.3. Características del medio filtrante.***

##### 1. Granulometría del medio filtrante

Evaluación del tamaño de los granos que componen presentes en una muestra del medio filtrante. Se debe obtener una muestra del lecho filtrante, secarlo y pesarlo, posteriormente pasarlo por las mallas Tyles, hasta que los granos a través de las mallas como su tamaño lo permita.

## 2. Estado del medio filtrante

Obtener la cantidad de lodos que se localizan en el lecho filtrante, se deben extraer cuatro muestras del lecho incrustado hasta la grava, colocar la muestra extraída a secar para determinar el volumen de agua, el cual es equivalente al volumen contenido de las bolas.

## 3. Espesor del medio filtrante

Calcular la profundidad del medio filtrante, este experimento corresponde a introducir una varilla metálica hasta encontrar la capa de grava.

### ***3.1.6.5. Desinfección.***

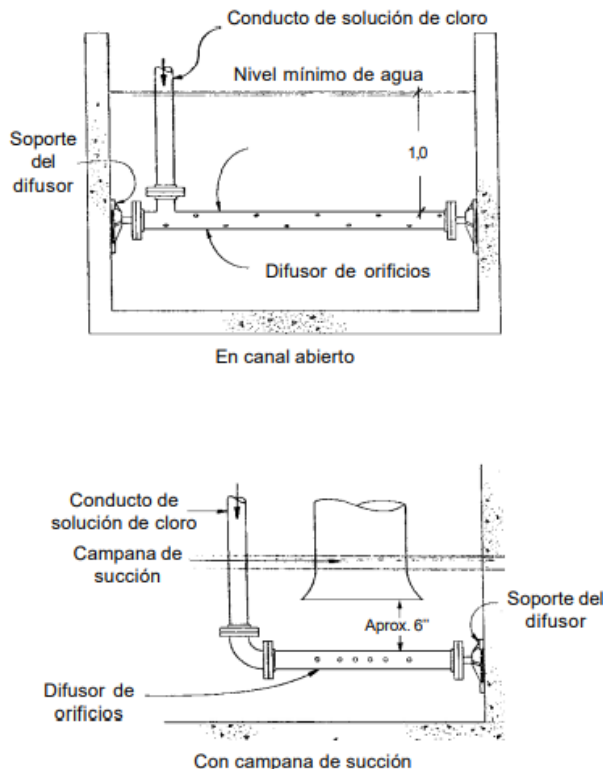
#### 1. Dosis óptima de cloro.

Se debe determinar la dosis de cloro que se debe utilizar en la red, donde se debe “Determinar el tiempo de retención entre el punto de aplicación y el punto más alejado de la red de distribución (Tf)” (Vargas, 2005, pág. 196).

#### 2. Características del sistema aplicación.

Donde se determina si el cloro se está aplicando correctamente.

**Figura #16. Aplicación del cloro sumergido.**



Nota. Se aprecia la forma correcta en la cual se debe aplicar el cloro en el agua. Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 3. Evaluación de plantas convencionales y tecnología apropiada, CEPIS, 2005, Editorial. Centro Panamericano de ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

### 3. Características de la instalación de cloración.

Se debe tener en cuenta las observaciones:

- "Instalaciones en las que el consumo de cloro es mayor de 50 kg/d debieran emplear cilindros de cloro de una tonelada." (Vargas, 2005, pág. 201).
- "En instalaciones con consumo de hasta 50 kg/d, los equipos de cloración y el almacén de los cilindros de cloro pueden compartir la misma área. En instalaciones de mayor capacidad, deben ubicarse en áreas separadas." (Vargas, 2005, pág. 201).

Grado de contaminación por el proceso

“Es conocido que la aplicación de cloro en aguas con color y/o con gran cantidad de materia orgánica puede generar contaminación adicional al ocasionar la formación de trihalometanos.” (Vargas, 2005, pág. 211).

### **3.1.7 Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de los datos.**

Al lograr recopilar los datos necesarios, se procede a una revisión preliminar donde se analiza la concordancia que poseen los resultados obtenidos con la teoría respectivamente, en caso que los datos se salgan de los parámetros presentes en la literatura será necesario volver a ejecutar la prueba respectiva, para obtener un resultado nuevo y erradicar la posibilidad de errores humanos; posteriormente se procede a tabular los resultados de cada prueba en un programa como es el Microsoft Excel y Microsoft Word la utilización de estos Software brinda la posibilidad de poseer los datos de manera más ordenada generar tablas, diagramas, aplicación de fórmulas (para generar una memoria de cálculos), entre infinidad de posibilidades. Estos programas mencionados anteriormente son los que se esperan utilizar en el transcurso del proyecto, sin embargo, no se descarta la utilización de diferentes o diversos programas.

Al obtener los resultados de las pruebas se debe realizar la comparación con el documento de la Gaceta No 38924-s Reglamento para la Calidad del Agua Potable las cuales deben estar en los márgenes de las siguientes tablas.

**Figura #17. Parámetros de calidad #1**

<b>Parámetros de aceptabilidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Alerta (VA)</b>	<b>Valor Admisible (VMA)</b>	<b>Máximo</b>
Turbiedad	UNT	1	5	
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable	
pH (a)	Valor pH	6,0	8,0	
Cloro residual libre (a)	mg/L	0,3	0,6 (b) (c)	

Nota. Estos en son los parámetros que por ley se deben respetar, del Reglamento para la calidad del agua, No38924-S, por el Ministerio de Salud, 2002, editorial, sistema costarricense de información jurídica,

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC)

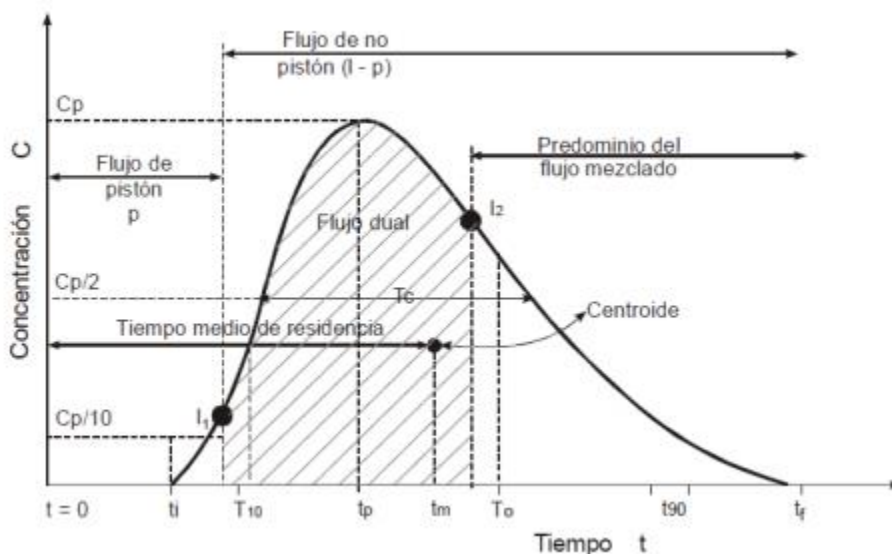
**Figura #18. Parámetros de calidad #2**

<b>PARAMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Alerta (VA)</b>	<b>Valor Admisible (VMA)</b>	<b>Máximo</b>
Color aparente	U-Pt-Co	< 5	15(c)	
Conductividad	μS/cm	400	-	
	UFC/100 ml			
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml UFC/100 ml	o No detectable (c)	No detectable (c)	
Cloro residual libre (a)	mg/L	0,3	0,6 (d,e)	
Cloro residual combinado (a) (b)	mg/L	1,0	1,8	

Nota. Estos en son los parámetros más actualizados en el mismo documento que respetar por ley, del Reglamento para la calidad del agua, No38924-S, por el Ministerio de Salud, 2002, editorial, sistema costarricense de información jurídica.

Para el análisis de las condiciones hidráulicas enfocadas en los floculadores y los sedimentadores, será necesario la creación de una curva de concentración de cloruros por un periodo de tiempo, como resultado de la prueba de trazadores. Que es la siguiente:

**Figura #19. Concentración del trazador en el efluente de un reactor**



Nota. Esta tabla es una curva de la concentración de cloruros por un periodo de tiempo, como resultado esperable de la prueba de trazadores, Del Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 2. Análisis de flujo y factores que determinan los periodos de retención, CEPIS, 2005, Editorial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Para cada uno de los procesos de potabilización existen diversos parámetros que se deben respetar para poder hacer referencia que los diversos procesos de la planta funcionan correctamente, estos datos fueron brindados por el Ingeniero Leonardo Moya, confirmados por el Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada los cuales son:

### 3.1.7.1. Coagulación / Mezcla Rápida:

- El proceso de coagulación por mezcla rápida debe poseer un tiempo de retención de 1 a 2 segundos.
- El proceso de agitación intensa de la coagulación debe poseer un gradiente de velocidad  $G$   $2\ 000\text{s}^{-1}$

### Floculación/Mezcla lenta

- El choque se promueve lentamente: tiempo de retención mezcla lenta (20 a 30 min).
- El choque se da a baja intensidad: gradiente de velocidad  $G$  (30 a  $80\ \text{s}^{-1}$ ).

**3.1.7.2 Sedimentación:**

- El proceso se promueve a una baja velocidad del agua, generalmente en régimen laminar ( $Re < 2\ 000$ ).
- Procesos físico de sedimentación.

**Filtración**

- El proceso se promueve a una velocidad que permita la retención de los flóculos, de acuerdo a la constitución del lecho filtrante.
- Proceso físico de cernido.

**3.1.7.3 Desinfección**

- El proceso se promueve a un tiempo de retención que permita la eliminación de los patógenos, de acuerdo con el tipo de desinfectante usado.
- Proceso químico o físico, según caso.



### **Análisis de resultados.**

## 4.1 Análisis de resultados

### 4.1.1. Coagulación

**4.1.1.1. Dosificación de sustancias.** La evaluación de esta prueba incluye el tipo de coagulante (sulfato de aluminio), manejo, almacenamiento y demás, donde se determinará el tiempo de retención en el tanque de disolución.

$$T_o = \frac{V}{q \times 60}$$

Donde:

$V$  = Volumen del tanque (L)

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

$T_o$  = Tiempo de retención (min).

$$T_o = \frac{2160 \text{ L}}{25 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 60}$$

$T_o = 1.44 \text{ min}$

Donde se determina que el tiempo de retención es de un tiempo de retención de un minuto cuarenta y cuatro segundos antes de llegar a los módulos en el cual actúa el coagulante.

**4.1.1.2. Manejo y almacenamiento de sustancias** El manejo presente en la planta potabilizadora por los técnicos a cargo, es correcto según el Manual de Evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada, ya que posee una zona especializada para el almacenamiento de las sustancias, se encuentra bien señalizado, adicionalmente con la presencia de tarimas para que la sustancia (sulfato de aluminio en la planta), cloro y demás sustancias químicas, no encuentre contacto con el suelo para no sufrir una contaminación, además utilizan la sustancia que posea más tiempo en la instalación, provocando un flujo constante del producto.

#### 4.1.2. Evaluación de mezcladores (mezclador rápido).

**4.1.2.1. Geometría de la unidad.** Con las inspecciones realizadas en la planta potabilizadora se determinó que el mezclador que se encuentra presente es un mezclador hidráulico que cumple con su función, ya que el resalto que se produce al pie de la rampa realiza una dispersión del coagulante de manera uniforme en todo el ancho de la canaleta o de la zona en turbulencia.

**4.1.2.2. Tiempo real de retención.** La forma por la cual se determina el tiempo teórico es mediante la utilización de las fórmulas desarrolladas determinando el volumen del resalto y el caudal real que se encuentra ingresando a la planta:

Fórmulas:

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

Donde:

V= Volumen (m<sup>3</sup>)

Q = caudal real de ingreso. (L/s)

Cálculo del volumen.

$$V = L * h * a$$

$$V = 2.53 \text{ m} * 1.1 \text{ m} * 0.77 \text{ m}$$

$$V = 2.14 \text{ m}^3$$

Cálculo de tiempo

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

$$t = \frac{2.14 \text{ m}^3}{18 \text{ L/s}}$$

$$t = \frac{(2.14m^3 * 1000)L}{18 L/s}$$

$$t = 118 \text{ s}$$

El tiempo teórico en el cual el coagulante genera reacción posteriormente del salto hidráulico es de ciento dieciocho segundos (118 s).

## 4.2. Floculador

### 4.2.1. Caudal de operación.

La prueba de trazadores permite determinar el caudal que ingresa en los floculadores (módulos), al momento que se realizó esta prueba la planta estaba en operación con un caudal de veinte litros entre segundo (20 L/s).

El cálculo de la distribución es de la siguiente forma:

Total, de trazador que ingresa a los cinco (5) floculadores (módulos).

$$\text{Total, del trazador} = F1+F2+F3+F4+F5$$

$$\text{Total, del trazador} = 795+842+825+842+880$$

$$\text{Total, del trazador} = 4184 \text{ Mv/h}$$

El porcentaje del trazador que pasa por cada unidad corresponde lo siguiente:

$$\text{Floculador 1} = \frac{795*100}{4184}$$

$$\text{Floculador 1} = 19 \%$$

$$\text{Floculador 2} = \frac{842*100}{4184}$$

$$\text{Floculador 2} = 20.12 \%$$

$$\text{Floculador 3} = \frac{825*100}{4184}$$

Floculador 3 = 19.71 %

$$\text{Floculador 4} = \frac{842 \cdot 100}{4184}$$

Floculador 4 = 20.12 %

$$\text{Floculador 5} = \frac{880 \cdot 100}{4184}$$

Floculador 5 = 21.03 %

Cálculo de caudales

Floculador 1.

$$\frac{19}{100} = \frac{X}{20}$$

Q1 = 3.8 L/s

Floculador 2.

$$\frac{20.12}{100} = \frac{X}{20}$$

Q2 = 4.024 L/s

Floculador 3

$$\frac{19.17}{100} = \frac{X}{20}$$

Q3 = 3.834 L/s

## Floculador 4

$$\frac{20.12}{100} = \frac{X}{20}$$

$$Q4 = 4.024 \text{ L/s}$$

## Floculador 5

$$\frac{21.03}{100} = \frac{X}{20}$$

$$Q5 = 4.206 \text{ L/s}$$

Los caudales obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla #2. Tabla resumen del porcentaje de trazador y caudales.**

Parámetros	Floculador 1	Floculador 2	Floculador 3	Floculador 4	Floculador 5
Trazador (%)	19	20.12	19.71	20.12	21.03
Caudal (L/s)	3.8	4.024	3.834	4.024	4.206

Nota. En la tabla se puede apreciar la diferencia que reciben cada uno de los floculadores.  
Fuente propia.

Con los datos obtenidos se demuestra una desigualdad de los floculadores, para el día que se realizó la prueba el caudal de la planta era de veinte litros entre segundo (20 L/s) lo que indica que a cada módulo le debía entrar cuatro litros entre segundos (4 L/s) de forma equilibrada, sin embargo, se demuestra que no ocurre, la principal razón por la que se ocasiona esta diferencia de caudales es por una posible falla hidráulica (fugas) y como la tubería se encuentra enterada no se aprecia a simple vista.

#### 4.2.2. Cálculo tiempo teórico de retención.

Para la resolución del ensayo de trazadores se debe calcular el tiempo de retención teórico de cada módulo donde el cálculo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$t_0 = \frac{V}{Q}$$

Donde:

$V = \text{volumen de la unidad (m}^3\text{)}$

$Q = \text{Caudal (m}^3\text{/s)}$

Las dimensiones según los planos corroboradas con un levantamiento en sitio son las siguientes:

Dimensiones de la sección cuadrada.

$$L = 3.15 \text{ m}$$

$$a = 2.85 \text{ m}$$

$$h = 2.06 \text{ m}$$

Dimensiones de la sección triangular.

$$B = 8.92 \text{ m}^2$$

$$H = 1.25 \text{ m}$$

Donde:

$$V_1 = L * a * h$$

$$V_1 = 2.85 * 3.15 * 1.25$$

$$V_1 = 18.5 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{b * h}{2}$$

$$V_2 = \frac{2.85 * 3.15}{2}$$

$$V_2 = 5.6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Modulo}} = 25 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{modulo}} = 25 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{modulo}} - V_{\text{grava}}$$

$$V_{\text{Total}} = 25 - 8.8548$$

$$V_{\text{Total}} = 16.1452 \text{ m}^3$$

$$t_0 = \frac{V}{Q}$$

$$t_0 = \frac{16.1452 \cdot 1000}{\frac{20}{5}}$$

$$t_0 = 4036.3 \text{ L/s}$$

$$t_0 = \frac{4036.3}{60}$$

$$t_0 = 67 \text{ min}$$

Obteniendo una comparación entre el tiempo teórico obtenido eliminando el volumen de la grava en los módulos se aprecia los siguientes datos.

**Tabla #3. Comparación entre el tiempo teórico y tiempo real, de la prueba de trazadores.**

Tiempo teórico		Tiempo Real	
Floculador 1	67 min	Floculador 1	59 min
Floculador 2	67 min	Floculador 2	58 min
Floculador 3	67 min	Floculador 3	58.5 min
Floculador 4	67 min	Floculador 4	59 min
Floculador 5	67 min	Floculador 5	58 min

Nota. En la tabla anterior se aprecia una diferencia aproximada de nueve u ocho minutos, el tiempo real de los flóculos se determinó de los diferentes gráficos presentes en los anexos, una diferencia importante. Fuente propia

Esta diferencia apreciada en la tabla anterior es influida por posibles fallas hidráulicas (fugas) presente en la tubería que no permite que el caudal se distribuya de manera equitativa en módulos, adicionalmente también puede ser causante de esta distribución la granulometría presente en los módulos del medio filtrante.



### 4.3.1. Características de la unidad.

Para la realización de la prueba se trazadores, se determinó la mezcla de una sustancia trazadora (salmuera) que es la mezcla de agua cruda (extraída después del desarenador) con sal pura, la mezcla se realizó con diecisiete kilogramos de sal pura (17 kg) hasta que quede disuelto en unos cincuenta litros, cuando la sal queda disuelta se agrega a la planta.

Después de agregar la salmuera en el punto de la mezcla rápida se empiezan a tomar muestras a la salida de los módulos al pasar treinta minutos, se toman muestras cada diez minutos por aproximadamente dos horas, por cada uno de los módulos generando un total de muestras de sesenta en los módulos.

**Tabla #4. Tabla de significados**

Variable	Significado
Ti	Tiempo Inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
T10	Tiempo correspondiente al paso del 10 % del trazador.
Tp	Tiempo modal.
Tm	Tiempo mediano, corresponde al paso de 50 % del trazador.
To	Tiempo medio de retención tiempo teórico de retención.
T90	Tiempo correspondiente al paso del 90 % del trazador.
Tf	Tiempo que transcurre hasta que atraviesa el trazador.
Co	Concentración inicial.
Cp	Concentración máxima a la salida.

Nota. Se aprecia los diferentes significados utilizados en los cálculos de la prueba de trazadores, Fuente el Manual III: Evaluaciones de plantas de tecnología apropiada: Planta de filtración rápida. CEPIS y Organización Panamericana de la Salud. Publicado en el 2005.

**Tabla #5. Resumen de cálculos de la prueba de trazadores.**

Modulo	Ti/to	Tm/to	Tp/to	Tc/to	Tb/to	e	Im
Floculador 1	0.44	0.88	11.865	0.223	1.186	-21.64	2.743
Floculador 2	0.44	0.86	12.567	0.223	1.256	-23.04	5.848
Floculador 3	0.44	0.873	12.313	0.223	1.231	-22.53	4.167
Floculador 4	0.44	0.880	12.567	0.223	1.256	-23.04	7.056

Modulo	Ti/to	Tm/to	Tp/to	Tc/to	Tb/to	e	Im
Floculador 5	0.44	0.865	13.134	0.22	1.313	-24.17	7.223

Nota. La tabla anterior es un resumen de los cálculos para cada uno de los diferentes floculadores. Fuente propia.

**Tabla #6. Módulo número 1.**

Criterio	Consecuencia
$Ti/to = 30/67 = 0.447 < 0.3$	Existen espacios muertos.
$Tm/To = 59/67 = 0.880$	Existen flujo pistón.
$Tp/to = 795/67 = 11.865$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$Tc/to = 67/15 = 0.223$	Flujo mezclado.
$Tb/to = 79.5/67 = 1.186$	Mezclado no ideal
$E = ((tf-tp)-(tp-t))/to = ((110-795)-(795-30))/67 = -21.641 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados de la prueba de trazadores del módulo 1. Fuente propia

Índice de Morril =  $T90\%/t10\%$

Índice de Morril =  $98.33/35.83$

Índice de Morril =  $2.7439$

**Tabla #7. Módulo número 2**

Criterio	Consecuencia
$Ti/to = 30/67 = 0.447 < 0.3$	Existen espacios muertos.
$Tm/To = 58/67 = 0.8656$	Existen flujo pistón.
$Tp/to = 842/67 = 12.567$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$Tc/to = 15/67 = 0.223$	Flujo mezclado.
$Tb/to = 84.2/67 = 1.256$	Mezclado no ideal
$E = ((tf-tp)-(tp-t))/to = ((110-842)-(842-30))/67 = -23.044 = 0$	Flujo pistón

Nota Resultados obtenidos de la prueba de trazadores del módulo 2. Fuente propia

Índice de Morril=  $T_{90\%}/t_{10\%}$

Índice de Morril=84.40/14.43

Índice de Morril=5.848

**Tabla #8. Módulo número 3.**

Criterio	Consecuencia
$T_i/t_o = 30/67 = 0.447 < 0.3$	Existen espacios muertos.
$T_m/T_o = 58.5/67 = 0.873$	Existen flujo pistón.
$T_p/t_o = 825/67 = 12.313$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$T_c/t_o = 15/67 = 0.223$	Flujo mezclado.
$T_b/t_o = 82.5/67 = 1.231$	Mezclado no ideal
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((110 - 825) - (825 - 30)) / 67 = -22.537 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados presentes de la prueba de trazadores del módulo 3. Fuente propia

Índice de Morril=  $T_{90\%}/t_{10\%}$

Índice de Morril=90.31/21.67

Índice de Morril=4.167

**Tabla #9. Módulo número 4**

Criterio	Consecuencia
$T_i/t_o = 30/67 = 0.447 < 0.3$	Existen espacios muertos.
$T_m/T_o = 59/67 = 0.880$	Existen flujo pistón.
$T_p/t_o = 842/67 = 12.567$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$T_c/t_o = 15/67 = 0.223$	Flujo mezclado.
$T_b/t_o = 84.2/67 = 1.256$	Mezclado no ideal

Criterio	Consecuencia
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((110 - 842 - (842 - 30)) / 67 = -23.044 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados de la prueba de trazadores del módulo 4. Fuente propia

Índice de Morril=  $T_{90\%} / t_{10\%}$

Índice de Morril=  $87.68 / 12.42$

Índice de Morril=  $7.056$

#### Tabla #10. Módulo número 5.

Criterio	Consecuencia
$T_i / t_o = 30 / 67 = 0.447 < 0.3$	Existen espacios muertos.
$T_m / T_o = 58 / 67 = 0.8656$	Existen flujo pistón.
$T_p / t_o = 880 / 67 = 8.46$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$T_c / t_o = 15 / 67 = 0.144$	Flujo mezclado.
$T_b / t_o = 88 / 67 = 0.846$	Mezclado no ideal
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((110 - 880) - (880 - 30)) / 67 = -155.57 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados de la prueba de trazadores del módulo 5. Fuente propia

Índice de Morril=  $T_{90\%} / t_{10\%}$

Índice de Morril=  $90.7496 / 12.563$

Índice de Morril=  $7.223$

En todos los módulos anteriores se aprecia que poseen una proporción del flujo mezclado, ya que el trazador se distribuye y aumenta el tiempo de retención.

**4.3.3.4. Tiempo formación inicial del flóculo.** Este ensayo denominado prueba de jarras no fue posible realizarlo, dentro del periodo de realización de las pruebas por coincidir con la época seca de Costa Rica, lo que provoca turbiedades muy bajas en todo este periodo del proyecto,

las cuales no superan el rango de una unidad de turbiedad. Sin embargo, se realizó una demostración de la prueba de jarras con agua de alta turbiedad producida artificialmente.

**4.3.3.5. Tamaño del flóculo producido.** De la misma forma que en el punto anterior (3.3.3.4) no se pudo realizar la prueba para realizar para la determinación del tamaño del flóculo.

#### 4.3. Sedimentación

Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada

Se determinar el nivel de turbiedad del agua decanta se estableció una eficiencia excelente, ya que posee una turbiedad menor de cinco UNT.

**Tabla # 11. Tabla resumen**

Tanque	Ti/to	Tm/to	Tp/to	Tc/to	Tb/to	e	Im
Tanque 1	2.5	0.466	93.625	1.25	9.3625	-169.75	3.977
Tanque 2	2.5	0.461	102	1.25	10.2	-186.5	7.674
Tanque 3	3.75	0.4028	94.125	1.87	9.4125	-167	6.259

Nota. La tabla anterior es un resumen de los resultados de la prueba de trazadores. Fuente propia

**Tabla #12. Tanque número 1**

Criterio	Consecuencia
$Ti/to = 20/8 = 2.5 < 0.3$	Espacios muertos.
$Tp/to = 749/8 = 93.625$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$Tc/to = 10/8 = 1.25$	Flujo mezclado.
$Tb/to = 74.9/8 = 9.3625$	Mezclado no ideal
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((120 - 749) - (749 - 20)) / 8 = -169.75 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados de la prueba de trazadores. Fuente propia

Índice de Morril=  $T_{90\%} / t_{10\%}$

Índice de Morril=98.1028/24.664

Índice de Morril=3.9775

El índice de Morril presente en el tanque número uno presenta un flujo mezclado lo que indica que hay una distribución más amplia del tiempo de retención.

**Tabla #13. Tanque número 2.**

Criterio	Consecuencia
$T_i/t_o = 20/8 = 2.5 < 0.3$	Espacios muertos.
$T_p/t_o = 816/8 = 102$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$T_c/t_o = 10/8 = 1.25$	Flujo mezclado
$T_b/t_o = 81.6/8 = 10.2$	Mezclado no ideal
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((120 - 816) - (816 - 20)) / 8 = -186.5 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados presentes de la prueba de trazadores. Fuente propia

Índice de Morril= T90%/t10%

Índice de Morril = 90.364/11.7745

Índice de Morril = 7.674

En el tanque número dos se aprecia una mayor amplitud del tiempo de retención que los demás tanques y posee presencia del flujo mezclado.

**Tabla #14. Tanque número 3**

Criterio	Consecuencia
$T_i/t_o = 30/8 = 3.75 < 0.3$	Espacios muertos.
$T_p/t_o = 753/8 = 94.125$	No se presentan cortocircuitos y espacios muertos.
$T_c/t_o = 15/8 = 1.875$	Flujo mezclado
$T_b/t_o = 75.3/8 = 9.4125$	Mezclado no ideal

Criterio	Consecuencia
$E = ((t_f - t_p) - (t_p - t)) / t_o = ((140 - 753) - (753 - 30)) / 8 = -167 = 0$	Flujo pistón

Nota. Resultados de la prueba de trazadores. Fuente propia

Índice de Morril =  $T_{90\%} / t_{10\%}$

Índice de Morril =  $88.947 / 14.21$

Índice de Morril = 6.259

Indica la presencia del flujo mezclado y la ampliación del tiempo de retención en la distribución del trazador.

#### 4.4. Filtración

##### 4.4.1. Características del proceso filtración.

**4.4.1.1. Velocidad y caudal de filtración.** En el funcionamiento idealizado de los filtros, estos deben de ser capaces de tratar cinco litros entre segundo, la misma cantidad que le entra a los módulos, y con la planta trabajando a su máxima capacidad los filtros poseen una velocidad máxima de doscientos veinte y ocho metros en tres días (228 m/d) como se muestra a continuación:

Velocidad de filtrado para un caudal de 25 L/s

$$V_{f_{\max}} = (m^3 / m^2 \cdot d) = q_{\max} (m^3 / d) / A_f (m^2)$$

Donde:

$V_{f_{\max}}$  = Velocidad de filtración máxima (m/d)

$A_f$  = Área filtrante ( $m^2$ )

$$V_{f_{\max}} = \frac{5L/s}{1.8869m^2}$$

$$V_{f_{\max}} = \frac{432m^3/d}{1.8869m^2}$$

$$V_{f_{\max}} = 228.946 \text{ m/d}$$

Velocidad de filtrado para un caudal de 18 L/s

$$V_{f \text{ prom}} = Q/A_t$$

Donde:

$V_{f \text{ prom}}$  = Velocidad de filtración promedio (m/d)

Q = Caudal (L/s)

$A_t$  = Área total de filtración de la batería ( $m^2$ ).

$$V_{f \text{ prom}} = (18L/s/5)/(1.8869 \text{ m}^2 * 5)$$

$$V_{f \text{ prom}} = 1555.2 \text{ m}^3/\text{día}/(1.8869*5) \text{ m}^2$$

$$V_{f \text{ prom}} = 164.841\text{m}/\text{día}$$

Comprobación de la relación =  $V_{f \text{ max}}/V_{f \text{ prom}}$

Comprobación de la relación =  $228.946/164.841$

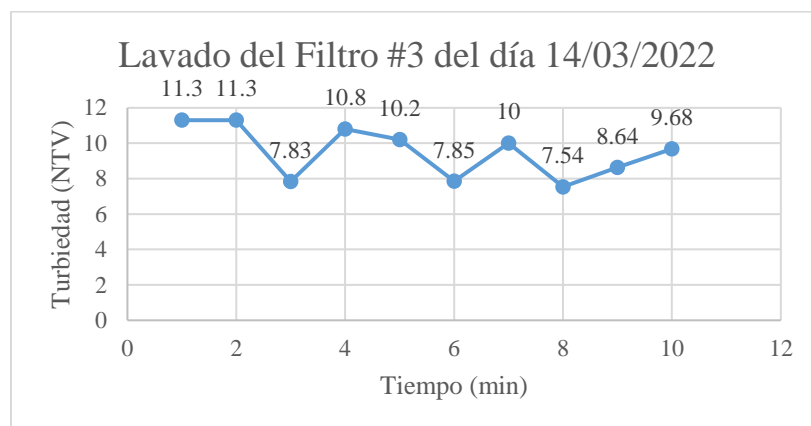
Comprobación de la relación =  $1.388 < 1.5$

Realizando una comparación de los resultados obtenidos se aprecia que la relación es menor de 1.5 con un resultado de 1.388 lo que indica que el filtro después de realizar el lavado correspondiente no posee un deterioro.



**4.4.1.2. Calidad del filtro inicial.** Se realizaron diferentes lavados a diferentes filtros, de los cinco (5) se escogieron el filtro número tres (3) el día catorce de abril del dos mil veintidós (14/03/2022), posteriormente se efectuó el mismo procedimiento en los filtros número dos (2) y cuatro (4) del día de veinticinco de abril del dos mil veintidós (25/03/2022), en el lavado del filtro número tres (3) se tardó diez minutos (10 min), en los demás filtros se realizó una duración de doce minutos (12 min). Esta diferencia por la cantidad de suciedad que poseían los filtros al momento de realizar el lavado.

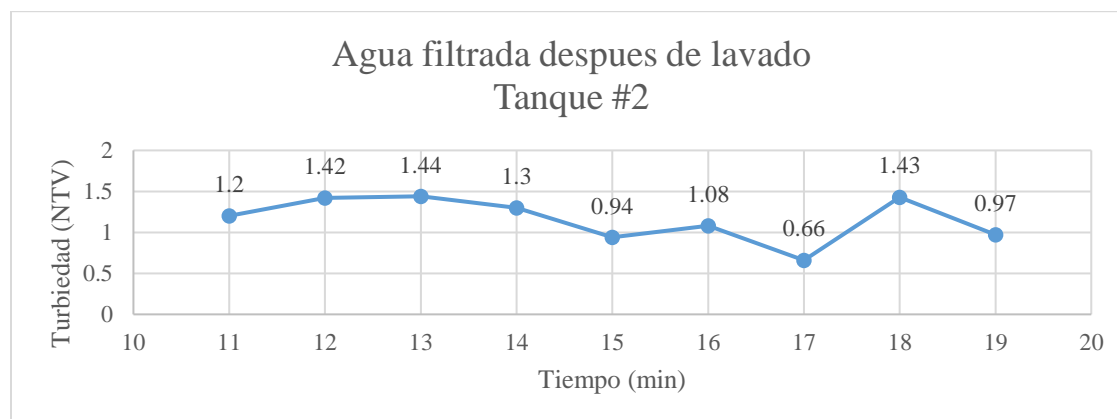
**Figura #20. Lavado del filtro #3 del día 14/03/2022**



Nota. En la salida del filtro número tres se obtuvo una turbiedad máxima de 11.3 unidades de turbiedad, hasta descender a un valor aceptable alrededor de 8 NTV. Fuente propia.

El agua recolectada en el lavado del Filtro #3 del día 14/03/2022, posee una duración de diez minutos (10 min) en cual se aprecia la retención de turbiedad y se aprecia que el medio filtrante está reteniendo alto porcentaje de contaminantes.

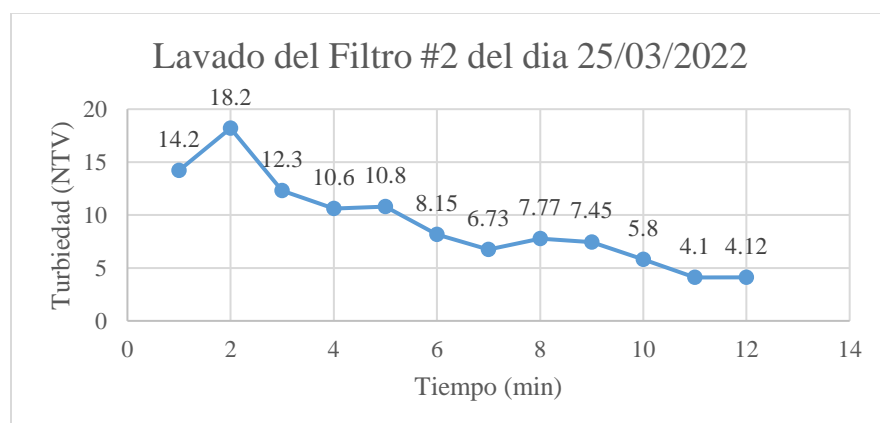
**Figura #21. Agua filtrada después del lavado en el tanque #2 del día 14/03/2022**



Nota. La turbiedad recolectada después del proceso de lavado se aprecia parámetros de turbiedad de 1.44 NTV a 0.66 NTV. Fuente propia.

El proceso de recolección se adquiere a partir de 10 minutos después de finalizar el lavado, en las muestras recolectadas se aprecia turbiedades óptimas que están incorporados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, donde los valores son menores de 5 NTV que son valores aceptables.

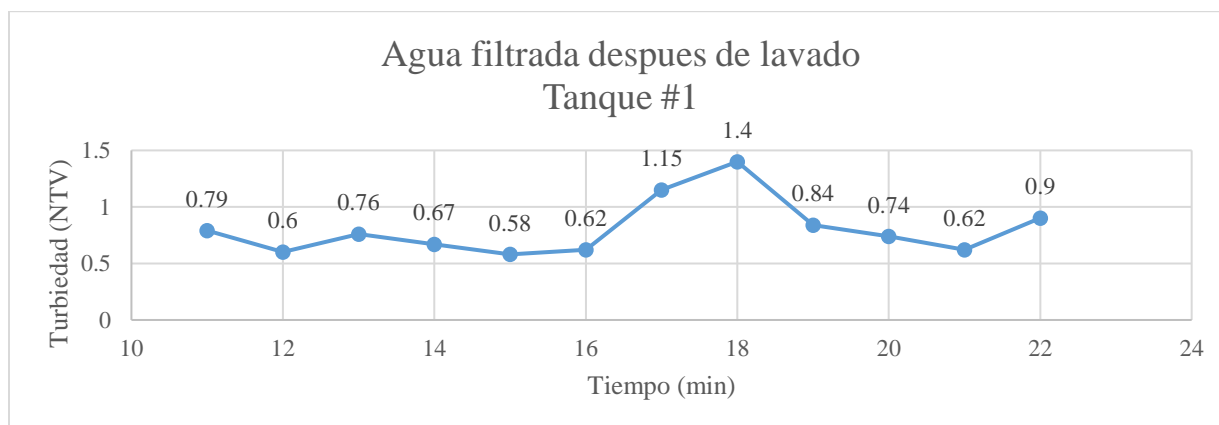
**Figura #22. Lavado del Filtro #2 del día 25/03/2022**



Nota. En la salida del filtro número dos se obtuvo una turbiedad máxima de 18.2 NTV, hasta descender a un valor aceptable alrededor de 4.1 NTV. Fuente propia.

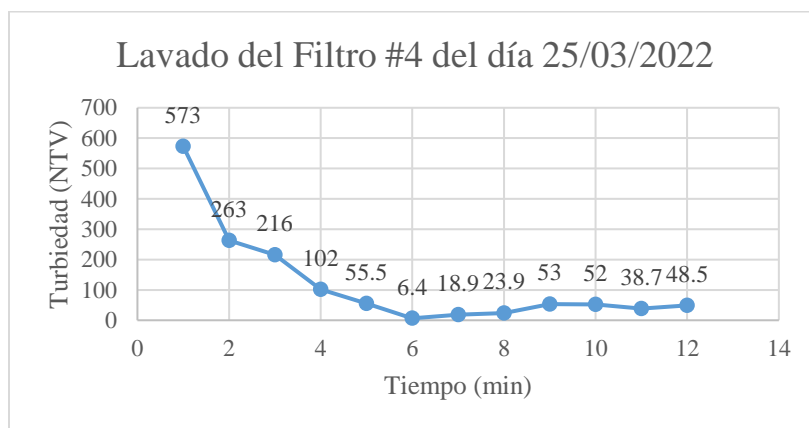
El lavado del filtro #2 dura 12 minutos, este lavado dura más y posee una turbiedad mayor que la anterior prueba realizada, porque el filtro poseía mayor tiempo sin ser lavado, por lo cual acumulaba mayor suciedad.

**Figura #23. Agua filtrada después del lavado en el tanque #1 del día 25/03/2022**



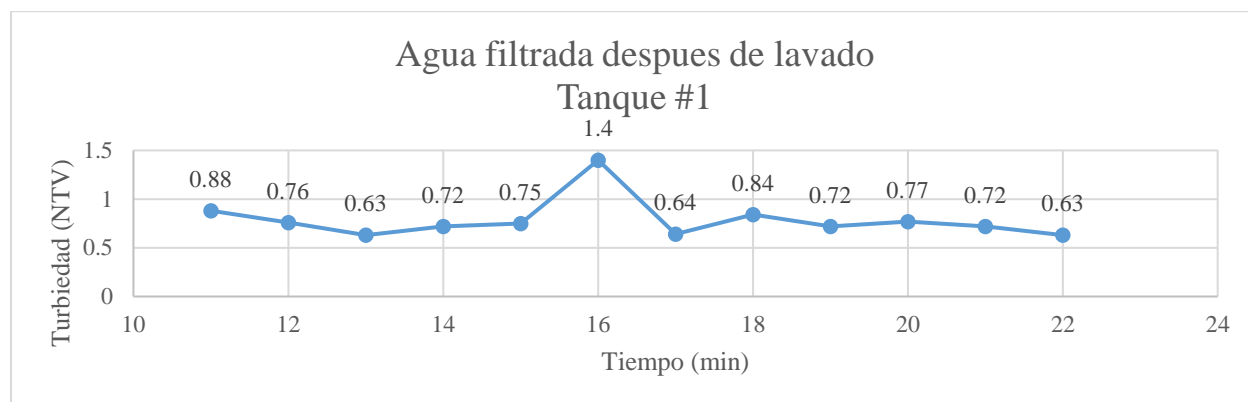
Nota. El agua obtenida después de lavado genera una turbiedad de entre los parámetros de 1.4 NTV a 0.6 NTV, los cuales son parámetros permitidos para distribuir el agua potable a la población. Fuente propia.

**Figura #24. Lavado del filtro #4 del día 25/03/2022**



Nota. El lavado del filtro número cuatro poseía mayor tiempo sin lavado alcanzando un nivel de turbiedad de 573 unidades de turbiedad y finalizando con 48.5 unidades de turbiedad, implicando la necesidad de un mayor tiempo de lavado. Fuente propia

**Figura #25. Agua filtrada después del lavado en el tanque #2 del día 25/03/2022**



Nota. Las unidades de turbiedad obtenidas después del lavado son menores de 1.5 UTN.  
Fuente propia.

#### **4.4.1.3. Características del sistema de lavado**

**4.4.1.3.1. Expansión del medio filtrante.** No se realizó esta prueba por el funcionamiento del filtro, ya que el mismo se encuentra completamente cerrado, pues es un filtro que opera a presión, y no se puede generar una filtración continua si se abre el tanque.

**4.4.1.3.2 Duración del proceso de lavado.** Esta prueba se ve afectada por la época seca que sufre el país en los meses desde diciembre del dos mil veinte uno (2021) hasta abril del dos mil veintidós (2022) lo que presenta unas turbiedades muy bajas en el agua que se está introduciendo en la planta.

Pero se logró identificar una duración del lavado de 12 minutos en los diferentes filtros a los que se realizó la prueba.

**4.4.1.3.3. Características del medio filtrante.** Esta prueba no se pudo realizar ya que en la planta los filtros son sellados, al estar contenidos en un tanque cerrado a presión, en los cuales no se puede medir el espesor del medio filtrante, pues no se puede acceder al mismo sino es deteniendo su operación, retirándolo de operación.

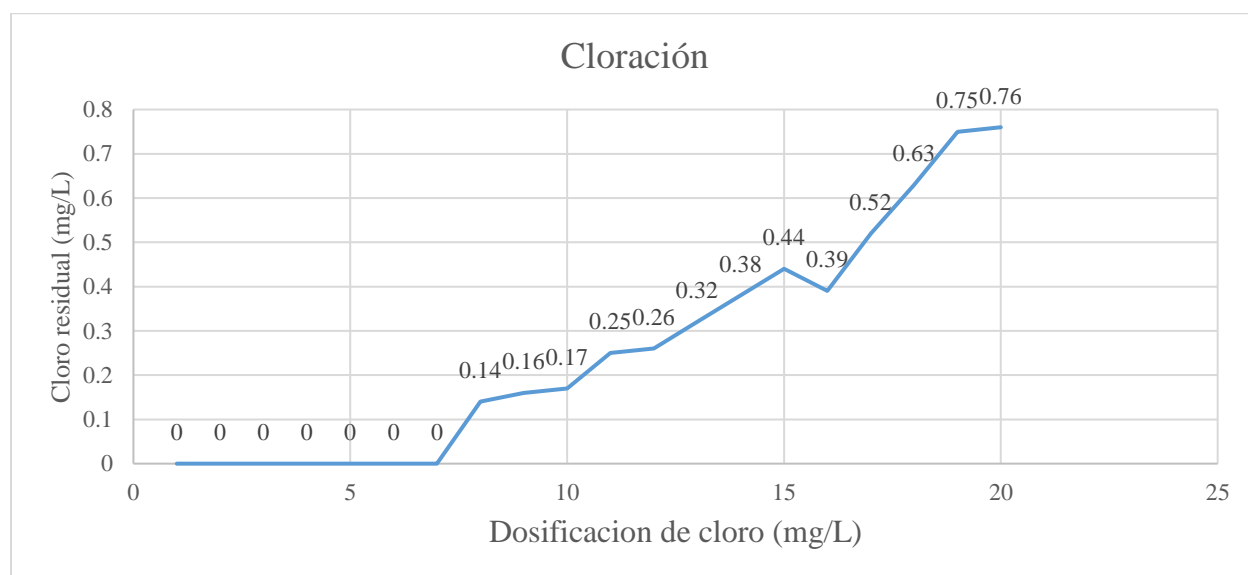
**4.4.1.3.4. Granulometría del medio filtrante.** Esta prueba no se pudo realizar por la misma razón del punto 3.4.1.3.3, ya que no se puede acceder al medio filtrante que poseen los filtros.

## 4.5. Desinfección.

### 4.5.1. Dosis óptima de cloro.

Para lograr la dosis óptima de cloro, se prepara una solución madre en la cual se disolvió treinta miligramos de cloro granulado en un litro de agua destilada el cual posee una concentración de 70 %, hasta que se disuelva en su totalidad. Posteriormente se recolectan veinte muestras de agua filtrada, a la cual se agrega un miligramo hasta veinte en las diferentes muestras consecutivamente. Una vez agregada la concentración a las veinte muestras diferentes se espera veinte minutos para realizar las mediciones de cloro residual correspondientes a cada una de las muestras.

**Figura #26. Cloración.**



Nota. El cloro residual libre se obtiene a partir de la muestra número 16, donde se aprecia un cloro permitido residual de 0.39. Fuente propia.

De acuerdo con la gráfica anterior se aprecia que en la muestra número 16 donde se aplicaron 16 mililitros, se da el punto de quiebre, a partir del cual se obtiene el valor de cloro residual libre, el más efectivo en la desinfección, siendo además el valor permitido por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable del Ministerio de Salud.

En el día 25 de abril del 2022 se midieron las dosificaciones y la duración de cloro en la red, desde el punto de aplicación hasta el punto de distribución, donde en un lapso de 60 m se

consumen en eliminación de microorganismos un porcentaje de cloro de 0.20 mg/L desde el punto de distribución hasta el tanque de almacenamiento.

**Tabla #15. Cloración del día 25/03/2022**

Horas	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
Cloración	0.92	0.85	0.86	0.9	0.95	0.22
Tanque de almacenamiento.	0.63	0.73	0.76	0.73	0.53	0.33
Distribución.	0.86	0.78	0.77	0.8	0.79	0.72

Nota. Se aprecia un consumo de cloro desde el punto de aplicación hasta la distribución, el cual indica una erradicación de patógenos. Fuentes propias.

#### **4.5.4. Características de las instalaciones de cloro.**

En la planta potabilizadora la sala de cloración se encuentra adecuadamente ventilada de forma natural por diversas ranuras que se encuentran en contacto con el exterior.

#### **4.5.5. Criterios para evaluar la sala de cloro y almacenamiento de cilindros de cloro.**

En la sala de cloración los tanques de cloro se encuentran correctamente localizados y debidamente fijados, ya que en caso de un sismo no posean peligro de caerse al suelo, posteriormente no se encuentra localizado ningún otro tipo de sustancia o materiales, para que no se entorpezca la manipulación de los cilindros, con su respectiva bomba de agua alterna en caso de alguna fuga, la rotulación de la ubicación de los tanques se encuentra respectivamente señalada.

#### **4.6. Presupuesto.**

A continuación, se desglosa el presupuesto global en el cual se propone los diferentes precios de pinturas y mano de obra para generar un aprovechamiento de la vida útil de las estructuras como en los módulos que poseen óxido y las columnas con reparaciones visibles (grietas) aplicando sellador para una mayor duración.

**Tabla #16. Indicador de pintura para módulos.**

	Precio	Unidad.	Cantidad	Total
Pintura blanca	₡ 71,500.00	4	220 m	₡ 286,000.00
Pintura gris	₡ 85,250.00	3	161 m	₡ 255,750.00

	Precio	Unidad.	Cantidad	Total
Pintura azul de baranda de seguridad	de ₡ 18,000.00	2	24 m <sup>2</sup>	₡ 36,000.00
				₡ 577,750.00

Nota. Estos indicadores son solo para los módulos, ya que se les está desarrollando óxido, se utiliza el anticorrosivo de la línea Corrostyl. Fuente propia.

El presupuesto esta basado en los materiales presentes en la ferretería Lanco, utilizando la pintura anticorrosiva Corrostyl de color blanco la cubeta, Corrostyl de color gris. cubeta y el galón de pintura azul. Obteniendo un total de pintura de 577 750 colones más 10 000 colones de transporte, generando un total de 587 750 colones.

**Tabla #17. Indicadores de pintura para las columnas y las columnas de los módulos**

	Precios	Unidad.	Cantidad	Total
Pintura gris de columnas	₡ 19,500.00	2	22 m <sup>2</sup>	₡ 39,000.00
Pintura gris de módulos	₡ 19,500.00	4	46 m <sup>2</sup>	₡ 78,000.00
				₡ 117,000.00

Nota. Las pinturas escogidas para esta tabla es la pintura impermeabilizante Goltex latex mate gris galón sur gal. Fuente propia.

Es recomendable realizar un refuerzo en la seguridad de estos componentes estructurales, ya que presentan reparaciones de grietas recientemente, con esto se logra alargar la vida útil de las columnas.

Utilizando información del Instituto Nacional de Aprendizaje indica que el rendimiento de un pintor es de 0.06 horas/hombre y utilizando los datos del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, se indica que un pintor gana por día 12 140 colones lo que indica lo siguiente:

**Tabla #18. Precio por horas, para pintura.**

	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (hora/hombre) Horas	Precio por hora
Pintura blanca para el módulo	220	0.06	13.2
Pintura gris para el módulo	161.1	0.06	9.666
Pintura para la baranda de seguridad	24	0.06	1.44
Pintura para las columnas del puente	22	0.06	1.32
Pintura para las columnas del módulo	46	0.06	2.76
<b>Total</b>			<b>28.386</b>
			<b>¢ 43,075.76</b>

Nota. Se obtiene un total de ¢ 43,075.76 solo en mano de obra y con un total de horas trabajadas de 28.386 horas. Fuente propia.

Lo que genera un resultado total de mantenimiento de pintura es 747 825 colones, adicionando un 5 % de herramientas (obteniendo 37 391.25 colones) y un 2 % de imprevistos (14.956.5 colones), se obtiene un total de 800 172 colones.

Se genera una presupuestación de materiales para la construcción de un techo que cubra los módulos, con el fin de eliminar la formación de gran cantidad de algas generado por la luz solar. A continuación, se aprecia el detalle:

**Tabla #19. Precio para materiales de techo.**

Material	Cant.	Precio	Total
Tubo hierro negro estructural cuadrado 4x4" (100x100x3.17mm) x6m	13	¢ 80,100.00	¢ 1,041,300.00



Material	Cant.	Precio	Total
Tubo hierro negro estructural rectangular 4"x6" (100x150x1.8mm) x6m	27	₡ 57,400.00	₡ 1,549,800.00
Tubo hierro negro estructural cuadrado 3" x 3" (72 x 72 x 1.8 mm) x 6 metros (calibre blanco)	32	₡ 75,600.00	₡ 2,419,200.00
Lamina de zing	65	₡ 16,500.00	₡ 1,072,500.00
Tornillo techo punta broca 1/4"x 2" (100 por paquete)	10	₡ 5,000.00	₡ 50,000.00
Cubeta	3	₡ 78,350.00	₡ 235,050.00
Varilla deformada grado #3 3/8	40	₡ 3,690.00	₡ 147,600.00
Concreto hecho a mano. en m <sup>3</sup>	0.64	₡ 125,000.00	₡ 80,000.00
Varrila #6	27	₡ 14,800.00	₡ 399,600.00
Alambre negro en Kg	5	₡ 1,400.00	₡ 7,000.00
			₡ 7,002,050.00

Nota. En la tabla anterior se aprecia el total de solo material para la colocación de un techo en la planta potabilizadora con un total de ₡7,002,050.00. Fuente Propia.

Al monto representativo en la tabla se debe agregar adicionales un 6% de herramientas de ₡ 420,123.00, un 2% de imprevistos de ₡ 140,041.00 y estimando un costo en la mano de obra de ₡6,864,059.00, generando un total de ₡ 13,864,059.00, aproximadamente, esto puede cambiar del lugar que se realice la cotización y los materiales a utilizar.

Para la toma se generó una presupuestación de material, la cual consiste en colar concreto en las secciones que se encuentran dañadas de la misma corrosión que genera el agua, lo cual como método preventivo se cotizó una colada de treinta centímetros de concreto que cubra el acero

expuesto generando un total de solo material de  129,600.00, cotizando con precio de concreto a  96,000.00 el metro cúbico, con una mano de obra cotizada en  116,646.00.

## 5. Conclusiones.

1. Se analizaron los cinco procesos de la potabilización del agua, logrando determinar los diferentes tiempos que duran en producirse, adicionalmente se aprecia una posible falla hidráulica en la tubería que conduce desde la coagulación a los módulos, ya que en la prueba de trazadores se visualiza una diferencia de caudal presente en cada uno; además se logra determinar que los módulos poseen espacios muertos, no presentan cortocircuitos, con presencia de flujo mezclado no ideal y una carencia del flujo pistón.
2. Se determinó que la planta está cumpliendo con los parámetros indicados por el Ministerio de Salud en el documento de La Gaceta, Reglamento para la Calidad del Agua Potable, No. 38924-S, en los cuales se puede apreciar que la planta posee una turbiedad menor de las 5 unidades de turbiedad, un cloro residual libre menor del 0.6 miligramos entre litros, un pH constante de 6.4 que no sobrepasa los 8 pH y demás parámetros, esto en la época de realización del proyecto que abarca la época seca desde enero hasta abril del dos mil veintidós (2022).
3. La planta potabilizadora de San Mateo posee un incumplimiento en la mayoría de los artículos del documento No. 2001-175 Reglamento de Normas Técnicas y Procedimiento para el Mantenimiento Preventivo de Sistemas de Abastecimiento de Agua), publicado en La Gaceta, que indica el mantenimiento preventivo que debe poseer una planta de tratamiento de agua, como la limpieza de la toma, desarenador, módulos, filtros y demás, revisiones de fallos estructurales estipulados en el documento mencionado anteriormente en la infraestructura de la planta potabilizadora desde la toma hasta el punto de distribución, y la falta de un recolector de lodos, ya que la planta expulsa los lodos de los filtros directamente al río y no se está realizando el procedimiento correcto.
4. Se determinó de un posible presupuesto global para posibles mejoras, mantenimientos y aspectos preventivos en la planta con un total de ₡ 14,793,831.00 para eliminación del oxido presenta en los módulos por la humedad, un concreto preventivo para la toma y un techo para impedir de menor forma la generación de algas.
5. Se comprobó que el agua que llega al punto de distribución en la duración de este proyecto no sobrepasa las 2 NTV, con su respectivo color y olor adecuado para el consumo humano, adicionalmente se analizó que el cloro presente en la distribución posee un promedio de 0.78 mg/L óptimo para el consumo.

### **Recomendaciones.**

1. La toma de la planta potabilizadora del río Machuca, se debe realizar un rediseño por graves daños estructurales que poseen esta estructura, donde se logra visualizar el varillado expuesto en la estructura de concreto, que se encuentra en constante contacto directo con el agua, produciendo una oxidación en el varillado de la estructura. Adicionalmente respetar los tiempos permitidos estipulados por la publicación No. 2001-175 del mantenimiento de los módulos, filtros, desarenador, las cuales poseen fechas establecidas de periodos de tiempo máximo que se deben generar inspección de cada uno de las partes de la planta potabilizadora.
2. Es necesario la confección de un manual de operación y mantenimiento interno para la planta potabilizadora.
3. Confeccionar nuevas curvas de dosis óptima contra turbiedad para las dos diversas fuentes utilizadas en la planta.
4. Adicionalmente es necesario cambiar y generar actualizaciones en el equipo que posee la planta potabilizadora, posee equipo muy antiguo y mal calibrado, que incluso ya es discontinuado por el fabricante.
5. La urgencia de completar los equipos de laboratorio como cristalería, equipo de medición más moderno que no se encuentre discontinuado por el fabricante, e incluso generar una programación correcta y una verificación de la calibración de los equipos.
6. Se recomienda cambiar el medidor de distribución de cloro ya que el tiempo y la falta de mantenimiento han generado un deterioro en el equipo generando trabas que afectan la dosificación de cloro.
7. Es recomendable colocar un sensor de nivel para tanques industriales que les indique a los técnicos el nivel del tanque de almacenamiento, por supuesto con su respectiva comprobación manual y no utilizar ese instrumento como único método de medición, ya que por las noches la planta sigue en funcionamiento, no se detiene la producción por más que el tanque se encuentre lleno, lo que produce un rebalse constante, esto se realiza con el fin que si ocurre una fuga en la red de distribución, la mañana siguiente el poblado tenga agua, con este instrumento se generaría un control más preciso del nivel del tanque a cada minuto y no cada hora como se está empleando en la actualidad.

### Referencias Bibliográficas.

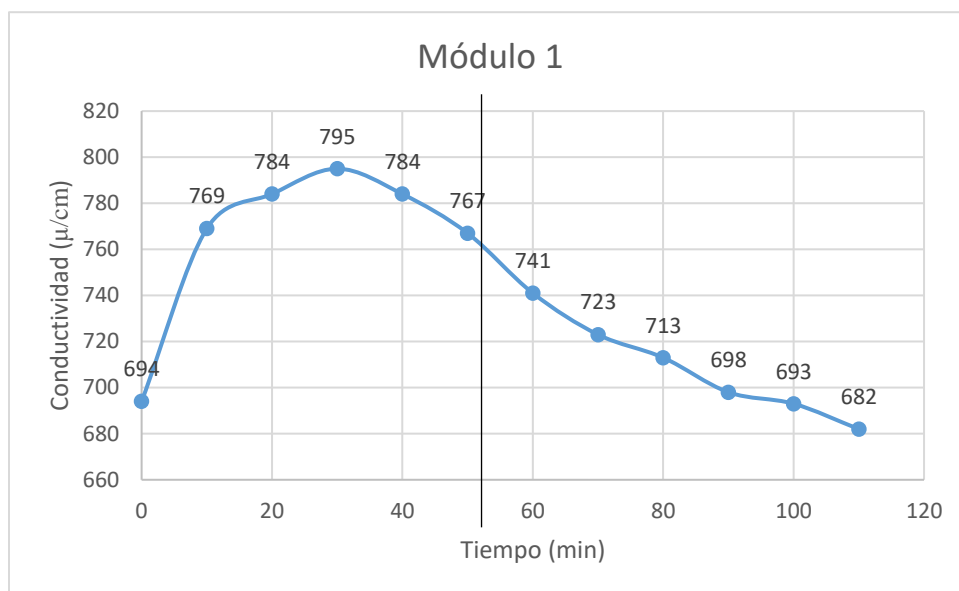
1. Estrada, M. (2016), *Evaluación de la eficiencia de los procesos de potabilización en dos plantas AguaClara en Morocelí y San Matías, Honduras*. [Tesis Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras,] <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5946/1/IAD-2016-T013.pdf>
2. Zafra, C. y Sanchez T. *Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora el Dorado (Bogota D.C.) a través del análisis estadístico de series de tiempo*, [Tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas], <https://docplayer.es/81056528-Evaluacion-de-la-calidad-del-agua-en-la-planta-potabilizadora-el-dorado-bogota-d-c-a-traves-del-analisis-estadistico-de-series-de-tiempo.html>
3. Loria, D. *Evaluación hidráulica y sanitaria del proceso de Sedimentación de la planta potabilizadora de San Ramon de Alajuela*, [Tesis Licenciatura, Universidad Latina de Costa Rica], Catálogo ALEPH (OPAC)
4. Mata, A. *Evaluación preliminar hidráulica y operacional de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Puntarenas*, [Tesis, licenciatura, Universidad de Costa Rica], <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/917/1/19185.pdf>
5. Reglamento para la calidad del agua potable. No. 38924-S, (2002). Costa Rica. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC)
6. Reglamento para la prestación de los servicios del AyA acuerdo de junta directa, No. 2020-422, (2020). Costa Rica. [https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes%20y%20reglamentos/REGLAMENTO%20PRESTACION%20DE%20SERVICIOS%20DEL%20AYA%202021\(RIGE15%20MARZO%202021\).pdf](https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes%20y%20reglamentos/REGLAMENTO%20PRESTACION%20DE%20SERVICIOS%20DEL%20AYA%202021(RIGE15%20MARZO%202021).pdf)
7. Norma Técnica para Diseño y construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial. No 227 A, B, C,D,E,F,G, (2017) Costa Rica, <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
8. CEPIS, OPS, (2005). Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

9. OSE, (2021), Etapas del proceso de potabilización, Obras sanitarias del estado Uruguay: <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>
10. Cabrera X., Fleites M., Moya C., (2009) estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del grama" a escala de laboratorio. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
11. Real academia española: *Diccionario de la lengua española*, 23.<sup>a</sup> ed.. <https://dle.rae.es/sedimentar> [22/11/2021].
12. Ministerio para la transición ecología y el reto demográfico, 2021/21/11, Estado y calidad de las Aguas superficiales, <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/>
13. Mora, D. y Mata A., Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales, 2003, <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20aguas%20para%20consumo%20humano%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales.pdf>
14. M. Larry, (2020), Introducción a las bacterias, Manual MSD, versión para público general, <https://www.msdmanuals.com/es-cr/hogar/infecciones/infecciones-bacterianas-introducci%C3%B3n/introducci%C3%B3n-a-las-bacterias>
15. Marín, L., (2006), desinfección del agua: sistemas utilizados en el AyA, Hidrogénesis vol. 5. <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.%20Sistemas%20utilizados%20en%20AyA.pdf>
16. Mora D., Felipe C., (marzo, 2019). Agua para Consumo Humano por Provincias y Saneamiento por Regiones manejados en Forma Segura en Zonas Urbanas y Rurales de Costa Rica al 2018, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20agua%20potable%20y%20saneamiento%202019%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf>
17. Comisión Nacional del Agua, (desconocida), Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable, [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf)

18. Pensis, (2019, abril). Agua, un tesoro invaluable, Oficina de Comunicación y Mercadeo, Tecnológico de Costa Rica. <https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/agua-tesoro-invaluable>
19. Acciona,(2020), Potabilización del agua, Business As Unusual, [https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=02021864894)
20. Organización Panamericana de la Salud, (2005), Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores, (COSUDUE), [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf)
21. Navarro, N., (Desconocido), Prueba de Jarras, Ingeniería y Servicios Ambientales, <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>
22. Hanna H., (2019), Medición de acidez en agua natural empleando el minititulador HI 84530, <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/medicion-de-acidez-en-agua-natural-empleando-el-minitulador-hi-84530>
23. Roberti L., (2020), Gestión de agua y saneamiento sostenible: Conducción por gravedad, <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conducci%C3%B3n-por-gravedad>
24. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, (desconocimiento), análisis de agua: Alcalinidad, <http://bvsper.paho.org/texcom/cd048437/sunassal.pdf>
25. Desconocido. (2021, 27 de enero), Protozoos: clasificación tradicional, IEQFB, <https://ieqfb.com/protozoos-clasificacion-tradicional/>

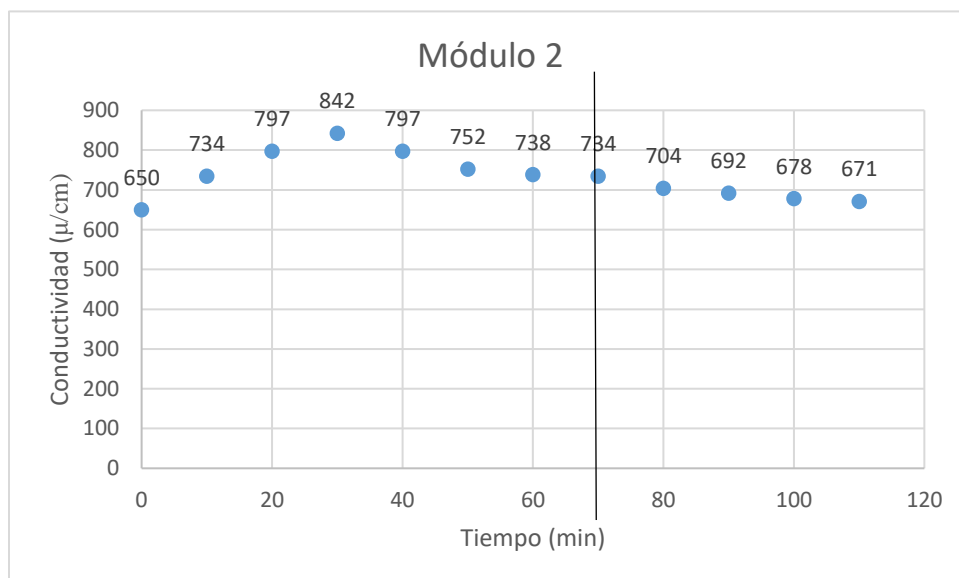
**Anexos.**

Gráfica del módulo #1



Fuente propia.

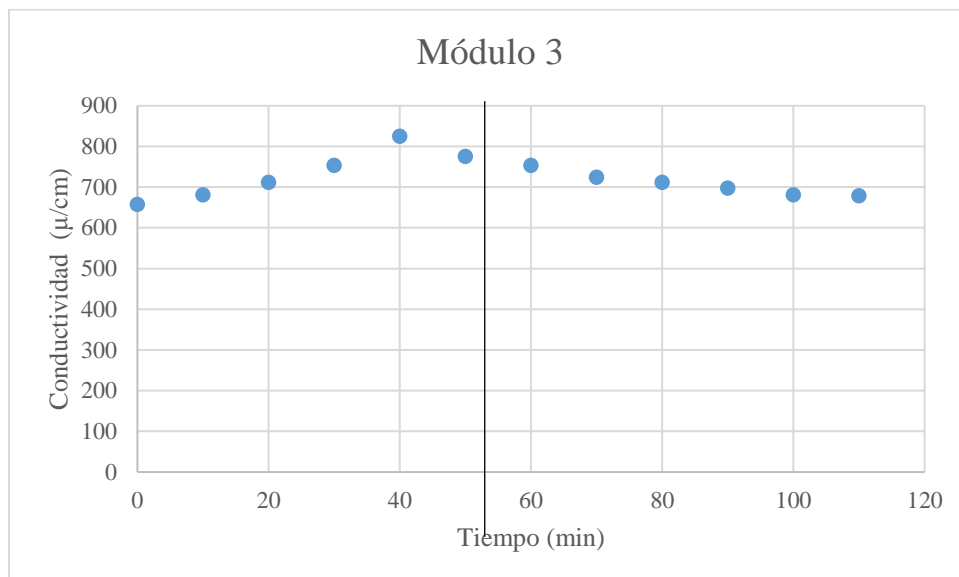
Gráfica del módulo #2



Fuente propia.

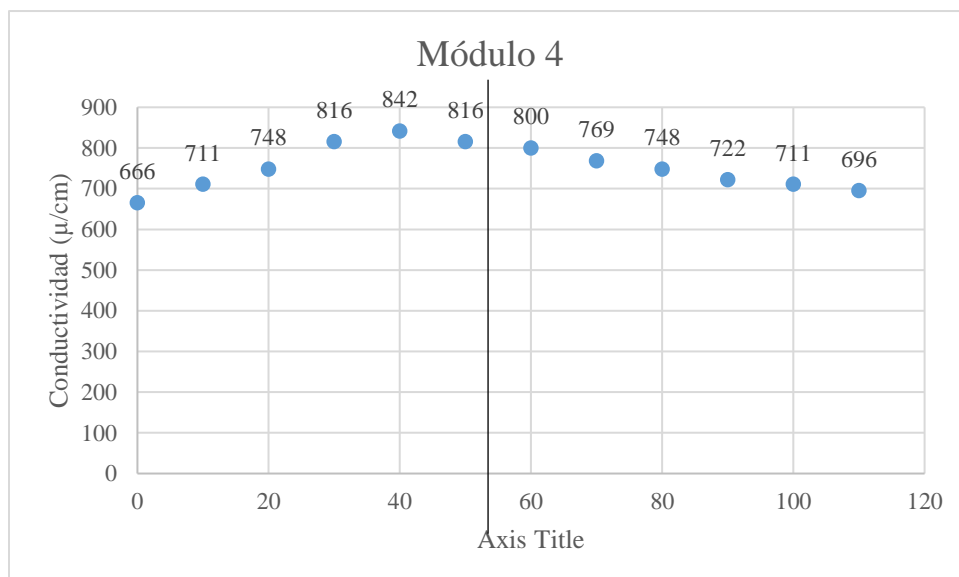


Gráfica del módulo #3



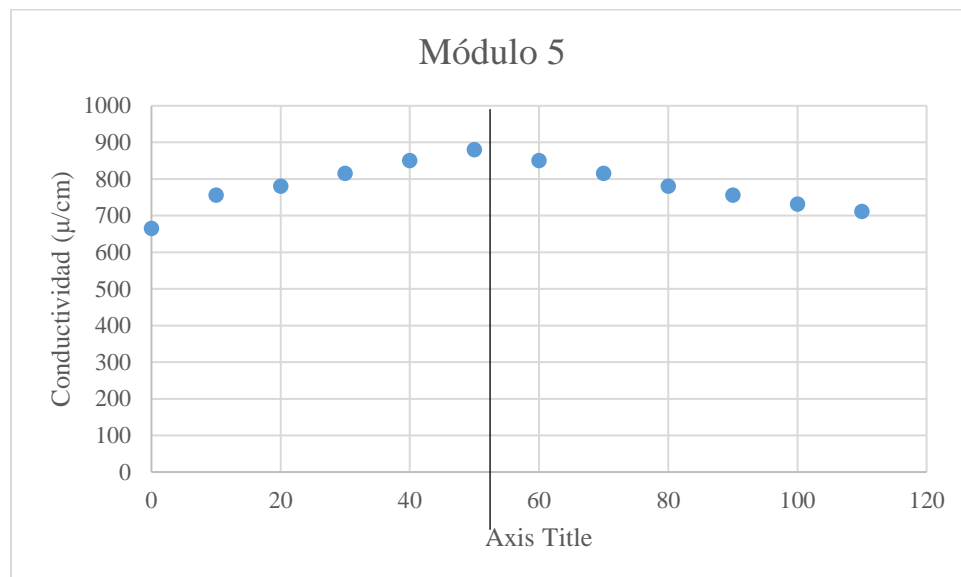
Fuente propia.

Gráfica del módulo #4



Fuente propia.

Gráfica del módulo #5



Fuente propia.

Ficha técnica para la inspección inicial.

Fecha .....

### A. UBICACIÓN

1. País: .....
2. Nombre de la planta .....
3. Localidades abastecidas .....
4. Localización:  
Departamento: ..... Provincia: ..... Distrito: .....
5. Dirección de la planta: .....  
Distancia de la capital: ..... km Altitud: ..... m. s. n. m.
6. Institución propietaria o administradora:

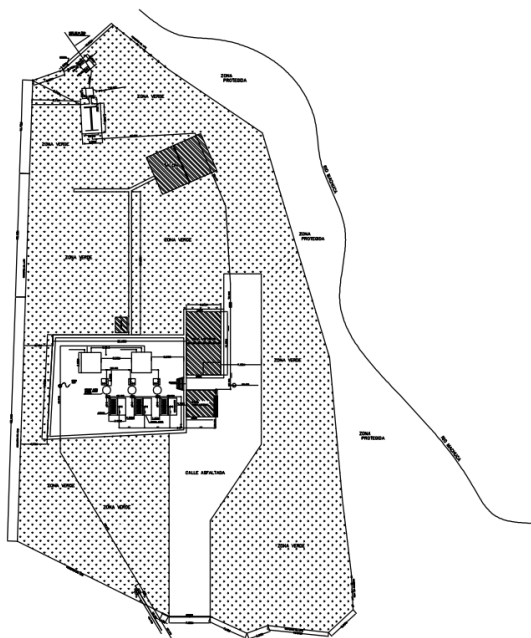
Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 1. Inspección inicial, CEPIS, 2005,

Fuente de abastecimiento, captación, conducción y acondicionamiento previo.

7. Fuente de abastecimiento:
- Quebrada .....
  - Río .....
  - Lago o embalse .....
- 7.1 Tipo de toma .....
- 7.2 Conducción de agua cruda:
- Por gravedad .....
  - Por bombeo .....
- 7.3 Desarenador .....
- 7.4 Presedimentador .....
- Largo: ..... m
  - Ancho: ..... m
  - Área: ..... m<sup>2</sup>
  - Carga superficial: ..... m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 1. Inspección inicial, CEPIS, 2005.

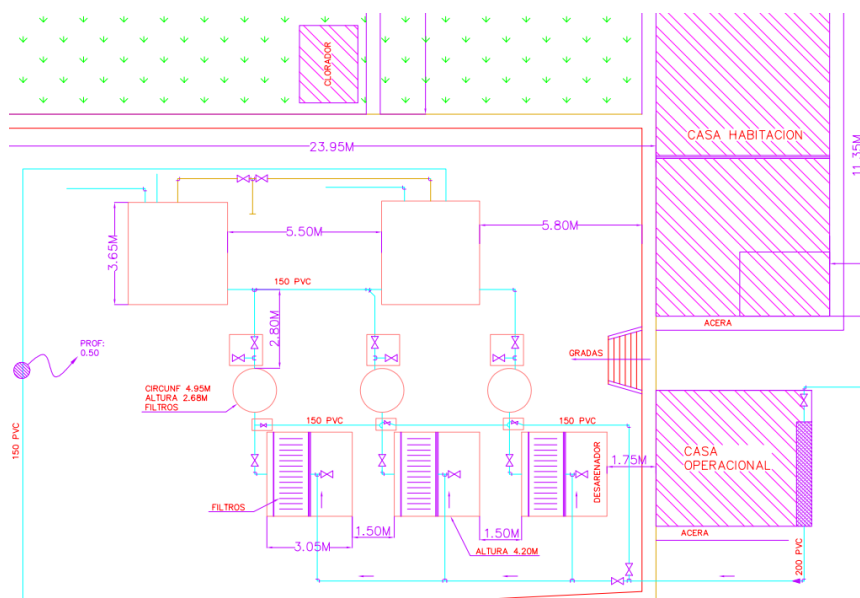
Plano desactualizado, general de la planta potabilizadora de San Mateo.



DET. PLANTA SAN MATEO

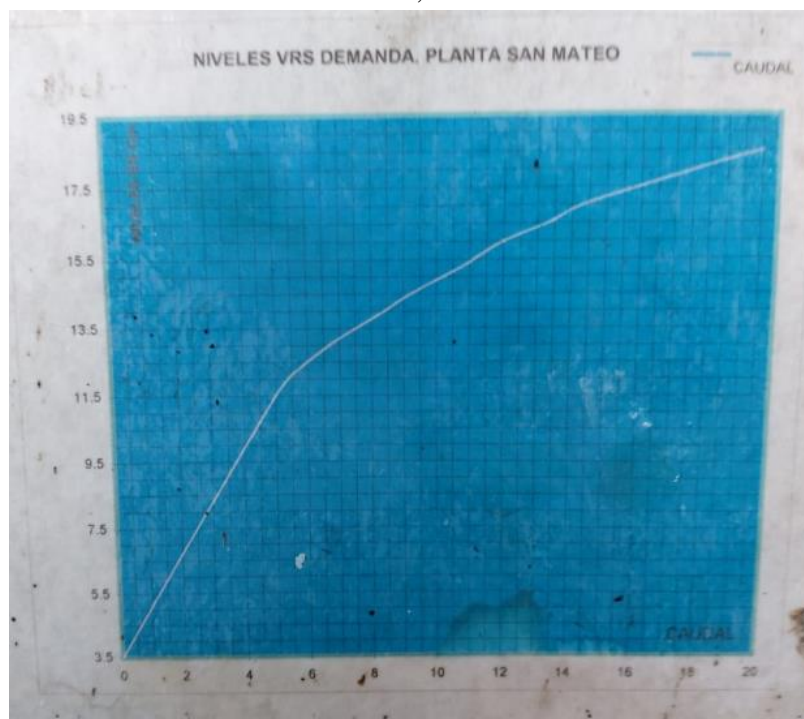
Fuente: AYA

Plano desactualizado, de la planta potabilizadora de San Mateo.



Fuente: AYA

Niveles versus demanda, desactualizado.



Fuente: AYA

Desarenador de la planta.



Fuente propia.

Coagulante.



Fuente propia.

Filtros



Fuente propia.

Módulos donde ocurre la floculación y sedimentación.



Fuente propia.

Vista frontal de la planta



Fuente propia.

Ficha técnica.

Fecha: 20/01/2022

País: Costa Rica

Nombre de la planta: Planta Potabilizadora de San Mateo

Localidades abastecidas: Pueblo de Orotina, poblado de San Mateo y el distrito de Desamparados.

Localización:

Departamento: AyA

Provincia: Alajuela

Distrito: San Mateo

Dirección de la planta: Del Pozo del Río Machuca un Kilometro al Norte localizado al lado derecho.

Distancia de la capital: 45Km Altitud: Desconocido m.s.n.m.

Fuente de abastecimiento:

- A) Quebrada. Los Moros
- B) Río. Machuca
- C) Lago o embalse. No posee

Tipo de toma. Superficial.

Conduccion de agua cruda

- a. Por gravedad.
- b. Por bombeo.

Desarenador.

Presedimentador.

- a. Largo.
- b. Ancho.
- c. Área.
- d. Carga superficial.

Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada, capítulo 1. Inspección inicial, CEPIS, 2005.

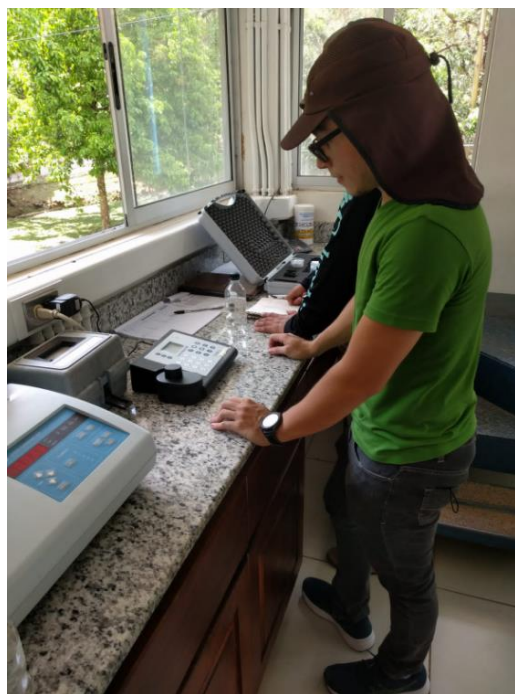


## Conductímetro



Fuente propia.

Pruebas de campo.



Fuente propia.

Toma.



Fuente propia.

### Glosario

1. Agua. Cuerpo compuesto de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, compuesto líquido inodoro e insípido.
2. Cloro. Elemento gaseoso amarillo, tóxico.
3. La dosis de cloro es la cantidad total del cloro que se inyecta al sistema; la demanda de cloro.
4. CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
5. Flujo. Acción y efecto de fluir.
6. Color. Sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda.
7. Desarenar. Quitar arena.
8. Coagulación. Acción y efecto de coagular.
9. Flocular. Formular grumos.
10. Sedimento. Materia que estando en suspensión en un líquido se poza.
11. Desinfectar. Acción y efecto de desinfectar.
12. AYA. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
13. Turbiedad. Cualidad de turbio.
14. Temperatura. Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K).
15. Sulfato. Sal mineral u orgánica del ácido sulfúrico.