



Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingenierías y TIC'S

Escuela de Ingeniería Civil

Licenciatura de Ingeniería Civil

Proyecto Final de graduación.

Evaluación sanitaria e hidráulica de la Quebrada Piedra Bruja y su efecto en la planta potabilizadora de Jacó.

Autora:

Rebeca Bonilla Vargas

**Heredia, 7 de mayo del 2022**

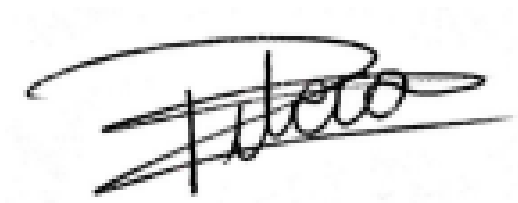
## DECLARACIÓN JURADA

Yo, **Rebeca Bonilla Vargas** 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 sanitaria e hidráulica de la Quebrada Piedra Bruja y su efecto en la planta potabilizadora de Jacó**

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

Firmo en Heredia, 16 de mayo del 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rebeca Bonilla Vargas', with a large, sweeping flourish above the name.

**Rebeca Bonilla**

**Vargas**

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


**Universidad Latina de Costa Rica**

<b>Yo (Nosotros):</b>	Rebeca Bonilla Vargas
<b>De la Carrera / Programa:</b>	Ingeniería Civil
<b>Modalidad de TFG:</b>	Proyecto de Graduación
<b>Titulado:</b>	Evaluación sanitaria e hidráulica de la Quebraba Piedra Bruja y su efecto en la planta potabilizadora de Jacó.

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 registrará 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  de  de  a las

Firma del estudiante(s):





## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “**EVALUACIÓN SANITARIA E HIDRÁULICA DE LA QUEBRADA PIEDRA BRUJA Y SU EFECTO EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE JACÓ**”, por el (la) estudiante: Rebeca Bonilla Vargas., 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:

---

Ing. Leonardo Moya González

Tutor

---

Ing. Daniel Figueroa Arias

Lector

---

Ing. Danilo Hernández Guerrero

Representante

## COMITÉ ASESOR

---

Ing. Leonardo Moya González

Tutor

---

Ing. Daniel Figueroa Arias

Lector

---

Ing. Danilo Hernández Guerrero

Representante



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**

POWERED BY **Arizona State University**

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

Heredia,

7/05/2022

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **EVALUACIÓN SANITARIA E HIDRÁULICA DE LA QUEBRADA PIEDRA BRUJA Y SU EFECTO EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE JACÓ**, elaborado por la (los) estudiante(s): **Rebeca Bonilla Vargas** como requisito para que el citado estudiante pueda optar por Licenciatura de 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) 

Ing. Leonardo Moya González  
104060491  
Tutor



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR  
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia,

7/05/2022

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: EVALUACIÓN SANITARIA E HIDRÁULICA DE LA QUEBRADA PIEDRA BRUJA Y SU EFECTO EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE JACÓ, elaborado por el (los) estudiante(s): Rebeca Bonilla Vargas como requisito para que el citado estudiante pueda optar por Licenciatura de 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,

DANIEL  
FIGUEROA  
ARIAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
DANIEL FIGUEROA ARIAS  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.05.12  
09:05:32 -06'00'

Ing. Daniel Figueroa Arias

1-1103-0974



## CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 16 de mayo del 2022

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

Estimados señores (as)

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad No. 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por título **“Evaluación sanitaria e hidráulica de la Quebrada Piedra Bruja y su efecto en la planta potabilizadora de Jacó ”**, de la estudiante **REBECA BONILLA VARGAS**, 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: 16/05/2022 04:56 PM  
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

---

Lcda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

## Resumen

El presente trabajo se encuentra enfocado en la evaluación sanitaria e hidráulica en la planta potabilizadora ubicada en la zona de Jacó, la cual alimenta todas las zonas altas y el pueblo en general.

La potabilización de una planta es una serie de procesos donde convierte la materia prima (agua cruda) en un producto final (agua potable), de acuerdo con las características que poseen las normas de potabilización, esta transformación utiliza procesos y equipos que remueven impurezas y lo convierten en agua apta para el consumo humano. La planta potabilizadora ubicada en la Quebrada Piedra Bruja en la zona de Jacó requiere periódicamente de evaluaciones hidráulicas y sanitarias que deben de realizar cada cierto tiempo para determinar sus condiciones, donde se deben de cumplir con parámetros operativos u organolépticos menores a los Valores Máximos Admisibles (VMA). El AYA propuso crear un Índice de Riesgo de la calidad del agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH) con el fin de crear un instrumento de medición que permita mostrar la gravedad que genera el incumplimiento de los parámetros de la calidad del agua.

El propósito de la esta investigación es poder analizar cada uno de los procesos, como lo son mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección de dicha planta, mediante la realización de ensayos de cada uno de estos procesos o pruebas de laboratorio (dichos laboratorios serán suministrados por el AYA) y de esta forma poder determinar las deficiencias presentes en cada uno de ellos y dar las soluciones óptimas con el fin de mejorar su funcionamiento, principalmente poder llegar al objetivo principal para la cual fue diseñada la planta, además se desea que este proyecto se pueda garantizar un producto de calidad a la población de Jacó y así asegurar una excelente salud en las comunidades que lo reciben.

## Summary

The present work is focused on the sanitary and hydraulic evaluation in the water treatment plant located in the Jaco area, which feeds all the highlands and the town in general.

The purification of a plant is a series of processes where it converts the raw material (raw water) into a final product (drinking water), in accordance with the characteristics that the purification standards possess, this transformation uses processes and equipment that remove impurities and convert it into water suitable for human consumption. The water treatment plant located in the Quebrada Piedra Bruja in the Jaco area periodically requires hydraulic and sanitary evaluations that must be carried out from time to time to determine its conditions, where operating or organoleptic parameters must be met that are lower than the Maximum Admissible Values (VMA). The AYA proposed to create a Water Quality Risk Index for Human Consumption in Costa Rica (IRCACH) in order to create a measurement instrument that allows showing the seriousness generated by non-compliance with water quality parameters.

The purpose of this research is to be able to analyze each of the processes, such as rapid mixing, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection of said plant, by carrying out tests of each of these processes or laboratory tests (said laboratories will be supplied by the AYA) and in this way to be able to determine the deficiencies present in each one of them and to give the optimal solutions in order to improve their operation, mainly to be able to reach the main objective for which the plant was designed, in addition it is desired that this project can guarantee a quality product to the population of Jaco and thus ensure excellent health in the communities that receive it.

## **Agradecimiento**

Primeramente, darle gracias a Dios por toda la ayuda brindada durante estos seis años de estudio, el cual me dio toda la fuerza, entendimiento, sabiduría y valor para poder culminar de la mejor forma.

Luego agradecerle a mi familia, mi novio, compañeros y a mis amigos que fueron parte en mi formación como Ingeniera, ayudándome y alentándome en todo momento.

También agradecerle a cada uno de los profesores que conocí a lo largo de mi carrera, en especial a el Ingeniero Leonardo Moya que fue una pieza fundamental en mi tesis, además de brindarme todo el conocimiento para poderla enfrentar de la mejor manera.

Agradecer a los operadores de la planta de Jacó y San Mateo por toda la ayuda, paciencia y, sobre todo, las ganas de que esta evaluación fuera un éxito.

## Índice

Resumen.....	X
Summary.....	XI
Agradecimiento.....	XII
Índice.....	XIII
Índice de tablas .....	XXII
Índice de Gráficos .....	XXIII
Índice de Ilustraciones .....	XXIV
Introducción .....	1
I.    Antecedentes .....	1
II.   Planteamiento del Problema.....	2
III.  Objetivo General .....	3
IV.  Objetivos Específicos .....	4
V.    Justificación.....	4
VI.  Alcances y limitaciones.....	5
Alcances .....	5
Limitaciones.....	6
VII.  Impacto .....	6
VIII. Hipótesis .....	7
Capítulo 1: Fundamentación Teórica.....	8
1.1  Agua tratada .....	8
1.2  Agua Subterránea .....	8
1.3  Agua Superficial.....	8
1.4  Agua Potable .....	8
1.5  Calidad del agua .....	8

1.5.1	Características Físicas .....	8
1.5.1.1	Turbiedad .....	9
1.5.1.2	Sólidos y residuos.....	9
1.5.1.3	Color.....	9
1.5.1.4	Olor y sabor .....	9
1.5.1.5	Temperatura .....	10
1.5.1.6	pH.....	11
1.5.2	Características químicas .....	11
1.5.2.1	Aluminio (Al).....	11
1.5.2.2	Arsénico (As) .....	11
1.5.2.3	Cianuros (CN) .....	12
1.5.2.4	Cloro residual libre.....	12
1.5.2.5	Cloruros (Cl) .....	12
1.5.2.6	Dureza .....	12
1.5.2.7	Hierro (Fe).....	13
1.5.2.8	Fluoruro (F).....	13
1.5.2.9	Manganeso (Mn) .....	13
1.5.2.10	Mercurio (Hg) .....	14
1.5.2.11	pH (potencial de hidrógeno).....	14
1.5.2.12	Plomo (Pb).....	14
1.5.2.13	Sodio (Na) .....	14
1.5.2.14	Yodo residual libre (I).....	15
1.5.2.15	Zinc (Zn) .....	15
1.5.3	Características biológicas.....	15
1.5.3.1	Algas.....	15

1.5.3.2	Bacterias .....	16
1.5.3.2.1	Bacterias Patógenas.....	16
1.5.3.3	Protozoarios.....	17
1.5.3.4	Rotíferos Copépodos y otros crustáceos .....	17
1.5.3.5	Insectos.....	17
1.5.3.7	Coliformes termotolerantes (fecales) .....	18
1.1.1.1	Criterios biológicos de calidad para la selección de una fuente de agua cruda	18
1.2	Criterios de calidad para la selección de una fuente de agua cruda .....	19
1.2.1	Criterios Físicoquímicos .....	19
1.2.1.1	Contaminantes Inorgánicos .....	19
1.2.1.2	Contaminantes Orgánicos .....	19
1.2.1.3	Contaminantes radiológicos .....	19
1.2.2	Criterios de selección de la fuente de agua cruda tomando en cuenta los aspectos físicoquímicos .....	20
1.2.3	Criterios de calidad del agua para consumo humano: las Guías de Calidad para aguas de Consumo Humano de la OMS .....	20
1.3	Plantas de Tratamiento de agua o Plantas Potabilizadoras .....	21
1.3.1	Principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua .....	21
1.3.1.1	Transferencia de sólidos.....	21
1.3.1.2	Transferencia de iones.....	21
1.3.1.3	Transferencia de gases .....	22
1.3.1.4	Otros Procesos.....	22
1.3.1.5	Transferencia molecular o de nutrientes .....	22
1.3.2	Tipos de plantas de tratamiento de agua .....	22

1.3.2.1	Plantas de filtración rápida.....	23
1.3.2.1.1	Planta de filtración rápida completa.....	23
1.3.2.1.2	Planta de filtración rápida directa.....	24
1.3.2.2	Plantas de filtración lenta.....	25
1.3.3	Sistemas de agua potable.....	25
1.3.4	Fuentes de agua de origen superficial.....	26
1.4	Clasificación de las plantas de filtración rápida por el tipo de tecnología utilizada	26
1.4.1	Sistemas de tecnología convencional clásica o antigua.....	26
1.4.2	Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS.....	28
1.4.3	Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados	28
1.5	Potabilización.....	29
1.5.1	Estudios preliminares.....	29
1.5.1.1	Calidad del agua.....	30
1.5.1.1.1	Cuerpos Superficiales.....	30
1.5.1.2	Pruebas de Tratabilidad.....	30
1.5.2	Procesos de la potabilización.....	31
1.5.2.1	Coagulación.....	31
1.5.2.1.1	Partículas Coloidales.....	32
1.5.2.1.2	Estabilidad e inestabilidad de los coloides.....	32
1.5.2.1.3	Sustancias químicas empleadas en la coagulación.....	32
1.5.2.1.4	Etapas de la coagulación.....	34
1.5.2.2	Floculación.....	35
1.5.2.2.1	Procesos de floculación.....	35



1.5.2.2.2	Floculadores .....	36
1.5.2.3	Sedimentación .....	38
1.5.2.3.1	Tipos de sedimentación .....	38
1.5.2.3.2	Clasificación de unidades .....	39
1.5.2.4	Filtración .....	41
1.5.2.4.1	Mecanismos de filtración .....	41
1.5.2.4.2	Medios filtrantes .....	42
1.5.2.5	Desinfección .....	44
1.5.2.5.1	Utilidad de la desinfección .....	44
1.5.2.5.2	Teoría de la desinfección .....	44
1.5.2.5.3	Variables controlables en la desinfección .....	44
1.5.2.5.4	Acción de los desinfectantes .....	45
1.5.2.5.5	Formas de desinfección .....	45
1.6	Desarenadores .....	47
1.6.1	Consideraciones generales .....	47
1.6.1.1	Pretratamientos y acondicionamiento previo .....	47
1.6.1.2	Unidades de acondicionamiento previo .....	47
1.6.1.2.1	Sedimentador .....	47
1.6.1.2.2	Desarenador .....	47
1.6.1.3.1	Corrientes de densidad .....	48
1.6.1.3.2	Corrientes debidas al viento .....	48
1.6.1.3.3	Corrientes cinéticas .....	48
1.6.1.4	Información básica para el diseño de un desarenador .....	48
1.6.1.4.1	Caudal de diseño .....	48
1.6.1.4.2	Calidad fisicoquímica del agua .....	48

1.6.1.4.3	Características del clima.....	48
1.6.1.5.1	Estudio de fuentes .....	49
1.6.1.5.2	Zona de ubicación .....	49
1.6.1.5.3	Análisis de suelos y geodinámica .....	49
1.6.1.5.4	Análisis de la calidad del agua .....	49
1.6.1.7	Análisis de la calidad de la fuente.....	49
1.6.1.8	Análisis de riesgo y vulnerabilidad de las instalaciones .....	50
1.6.1.8.1	Análisis de riesgo .....	50
1.6.1.8.2	Vulnerabilidad.....	50
1.6.1.9	Diseño del desarenador .....	50
1.6.1.9.1	Zona de entrada.....	50
1.6.1.9.2	Zona de desarenación.....	50
1.6.1.9.3	Zona de salida.....	50
1.6.1.9.4	Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada .....	51
1.6.1.10	Criterios de diseño.....	51
Capítulo 2: Marco Metodológico.....		53
2.1.	Paradigma .....	53
2.2.	Enfoque metodológico.....	54
2.3.	Métodos de investigación .....	54
2.4.	Categoría de análisis de la investigación.....	54
2.5.	Población y muestra.....	56
2.6.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	56
2.6.1.	Inspección inicial.....	56
2.6.1.1.	Procedimiento para una inspección inicial.....	56
2.6.2.	Ensayo con trazadores .....	56

2.6.2.1.	Sustancias trazadoras.....	57
2.6.3.	Evaluación del proceso de coagulación .....	57
2.6.3.1.	Manejo y almacenamiento de sustancia químicas.....	57
2.6.3.2.	Dosificación de sustancias químicas.....	58
2.6.4.	Evaluación del proceso de mezcladores.....	58
2.6.4.1.	Geometría de la unidad .....	58
2.6.4.2.	Tiempo real de retención.....	58
2.6.4.3.	Intensidad de la mezcla .....	59
2.6.5.	Evaluación de floculadores .....	59
2.6.5.1.	Unidades hidráulicas .....	59
2.6.5.2.	Caudal de operación .....	59
2.6.5.3.	Parámetros óptimos del proceso.....	60
2.6.5.4.	Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad .....	60
2.6.5.5.	Unidad de floculación hidráulica .....	60
2.6.5.6.	Tiempo de formación inicial del flóculo.....	60
2.6.5.7.	Tamaño del flóculo producido .....	60
2.6.6.	Evaluación de decantadores .....	60
2.6.6.1.	Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada.....	61
2.6.6.2.	Eficiencia en función de la calidad del agua cruda.....	61
2.6.6.3.	Determinación de condiciones hidráulicas.....	61
2.6.6.4.	Determinación de carga superficial real.....	62
2.6.7.	Evaluación de los filtros.....	62
2.6.7.1.	Velocidad y caudal de filtración.....	62
2.6.7.2.	Calidad del filtrado inicial.....	62
2.6.7.3.	Duración de las carreras de filtración.....	62

2.6.7.4.	Características del sistema de lavado .....	62
2.6.7.5.	Expansión de medio filtrante .....	63
2.6.7.6.	Duración del proceso de lavado .....	63
2.6.7.7.	Características del medio filtrante.....	64
2.6.7.8.	Granulometría del medio filtrante.....	64
2.6.7.9.	Estado del medio filtrante .....	64
2.6.7.10.	Espesor del medio filtrante.....	64
2.6.8.	Evaluación de las instalaciones de cloración .....	65
2.6.8.1.	Tiempo real de contacto .....	65
2.6.8.2.	Dosis óptima de cloro.....	65
2.6.8.3.	Características del sistema de aplicación .....	65
2.6.8.4.	Características de las instalaciones de cloración.....	65
2.6.8.5.	Criterios para evaluar la sala de cloración y almacén de cilindros de cloro	66
2.7.	Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos .....	66
Capítulo 3:	Análisis de los resultados .....	69
3.1	Inspección Inicial .....	69
3.1.1	Características de la planta.....	69
3.1.2	Archivos de control de la planta.....	71
3.1.3	Esquema de Flujo .....	86
3.2	Tiempos de retención teóricos.....	87
3.3	Ensayo de trazadores.....	88
3.3.1	Cálculo de cantidad de trazador dosificación instantánea.....	88
3.4	Evaluación de procesos .....	89
3.4.1	Mezcla rápida .....	89

3.4.2	Floculación/ Sedimentación .....	90
3.4.2.1	Caudal de Operación .....	90
3.4.2.2	Dimensiones del Floculador/Sedimentador .....	90
3.4.2.3	Tiempo de retención y características hidráulicas del floculador/sedimentador .....	90
3.4.2.4	Índice de Morril.....	98
3.4.2.5	Unidades de floculación hidráulica .....	99
3.4.2.6	Tiempo de formación del flóculo.....	99
3.4.2.7	Tamaño de flóculo producido .....	99
3.4.3	Sedimentación .....	99
3.4.4	Filtración .....	100
3.4.4.1	Características de la unidad.....	100
3.4.4.2	Caudal de Operación .....	101
3.4.4.3	Dimensiones de los filtros .....	101
3.4.4.4	Tiempo de retención y características hidráulicas del floculador/sedimentador .....	101
3.4.4.5	Índice de Morril.....	109
3.4.4.6	Calidad de filtrado inicial.....	110
3.4.4.7	Duración del proceso de lavado .....	111
3.4.5	Desinfección.....	113
3.4.5.1	Dosis óptima de cloro o curva de demanda de cloro.....	113
3.5	Diseño del desarenador .....	116
3.5.1	Datos.....	116
3.5.2	Viscosidad cinemática.....	116
3.5.3	Número de Reynolds.....	117

3.5.4	Coeficiente de Arrastre.....	117
3.5.5	Velocidad de sedimentación de la partícula en zona de transición .....	118
3.5.6	Eficiencia.....	118
3.5.7	Propuesta dimensiones .....	119
3.5.8	Velocidad Horizontal .....	119
3.5.9	Periodo de retención.....	119
3.5.10	Tramo de transición.....	120
3.6	Presupuesto.....	120
	Conclusiones .....	126
	Recomendaciones .....	128
	Bibliografía.....	130
	Anexos .....	132
	Glosario.....	148

### Índice de tablas

	<i>Tabla 1. Cuadro de olores característicos del agua y su origen.....</i>	<i>10</i>
	<i>Tabla 2 Contaminación por coliformes termotolerantes en los cursos de agua por regiones del mundo.....</i>	<i>18</i>
	<i>Tabla 3 Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida aceptable .....</i>	<i>23</i>
	<i>Tabla 4 Límites de calidad del agua para plantas de filtración directa .....</i>	<i>24</i>
	<i>Tabla 5 Otros parámetros de calidad importantes para la filtración directa.....</i>	<i>25</i>
	<i>Tabla 6. Composición Química .....</i>	<i>33</i>
	<i>Tabla 7. Límite para impurezas químicas.....</i>	<i>34</i>
	<i>Tabla 8. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación .....</i>	<i>52</i>
	<i>Tabla 9. Datos mes de diciembre 2021.....</i>	<i>72</i>
	<i>Tabla 10. Datos mes de enero 2022.....</i>	<i>75</i>

<i>Tabla 11 datos mes de febrero 2022</i> .....	78
<i>Tabla 12 Datos mes de marzo 2022</i> .....	80
<i>Tabla 13 Datos mes de abril 2022</i> .....	83
<i>Tabla 14. Datos prueba de trazadores del floculador/sedimentador</i> .....	91
<i>Tabla 15. Tiempos de retención</i> .....	93
<i>Tabla 16. Resultado del ensayo de trazadores del floculador/sedimentador</i> .....	93
<i>Tabla 17. Tiempos del floculador/sedimentador</i> .....	97
<i>Tabla 18. Comportamiento hidráulico del floculador ascendente</i> .....	98
<i>Tabla 19. Datos prueba de trazadores de filtros</i> .....	102
<i>Tabla 20. Tiempos de retención de los filtros</i> .....	104
<i>Tabla 21. Resultados del ensayo de trazadores de los filtros</i> .....	104
<i>Tabla 22. Significado de variables</i> .....	107
<i>Tabla 23. Características hidráulicas de los filtros</i> .....	108
<i>Tabla 24. Comportamiento hidráulico de los filtros</i> .....	109
<i>Tabla 25. Calidad de filtrado inicial</i> .....	110
<i>Tabla 26. Datos del tiempo de lavado</i> .....	112
<i>Tabla 27. Datos del ensayo de cloración</i> .....	114
<b>Tabla 28. Densidad y Viscosidad del agua</b> .....	135

### **Índice de Gráficos**

<i>Gráfico 1. Datos caudales de diciembre 2021</i> .....	73
<i>Gráfico 2. Datos agua cruda de diciembre 2021</i> .....	74
<i>Gráfico 3. Datos agua filtrada diciembre 2021</i> .....	74
<i>Gráfico 4. Datos caudal mes de enero 2022</i> .....	76
<i>Gráfico 5. Datos agua cruda mes de enero 2022</i> .....	77
<i>Gráfico 6. Datos agua tratada mes de enero 2022</i> .....	77
<i>Gráfico 7. Datos caudal mes de febrero 2022</i> .....	79
<i>Gráfico 8. Datos agua cruda mes de febrero 2022</i> .....	79
<i>Gráfico 9. Datos agua tratada mes de febrero 2022</i> .....	80
<i>Gráfico 10. Datos caudal mes de marzo 2022</i> .....	82

<i>Gráfico 11. Datos agua cruda mes de marzo 2022 .....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 12. Datos agua tratada mes de marzo 2022.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 13. Datos caudal mes de abril 2022.....</i>	<i>85</i>
<i>Gráfico 14. Datos agua cruda mes de abril 2022 .....</i>	<i>85</i>
<i>Gráfico 15. Datos agua filtrada mes de abril 2022.....</i>	<i>86</i>
<i>Gráfico 16. Conductividad floculador/sedimentador .....</i>	<i>92</i>
<i>Gráfico 17 Características hidráulicas del floculador/sedimentador.....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfico 18. Índice de Morril del floculador/sedimentador .....</i>	<i>98</i>
<i>Gráfico 19. Conductividad filtros.....</i>	<i>103</i>
<i>Gráfico 20. Concentración de trazadores en los filtros .....</i>	<i>107</i>
<i>Gráfico 21. Índice de Morril filtros .....</i>	<i>109</i>
<i>Gráfico 22. Filtrado inicial.....</i>	<i>111</i>
<i>Gráfico 23. Lavado del filtro .....</i>	<i>113</i>
<i>Gráfico 24. Curva de dosificación óptima.....</i>	<i>115</i>

### **Índice de Ilustraciones**

<i>Ilustración 1 Sistema convencional antiguo .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 2 Sistema convencional optimizado .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 3 Modelo Esquemático del proceso de coagulación.....</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 4 Clasificación de floculadores.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 5 Principio de floculación.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 6 Diagrama Paragenético.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 7 Esquema de filtración.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 8. Desarenador (planta y corte longitudinal) .....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 9 Concentración del trazador en el efluente de un reactor.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 10 Parámetros de calidad del agua .....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 11. Elevación de la planta de Jacó.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 12. Planta de Jacó.....</i>	<i>70</i>



<i>Ilustración 13 Croquis de la planta Jacó .....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 14. Cocina administrativa .....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 15. Área administrativa.....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración 16. Área de Cloración .....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración 17. Propuesta ampliación edificio parte trasera.....</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración 18. Propuesta ampliación edificio parte principal .....</i>	<i>124</i>
<i>Ilustración 19 Proceso de Coagulación (mezclador estático).....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 20 Proceso de Cloración.....</i>	<i>132</i>
<i>Ilustración 21 Proceso de Prefiltración. ....</i>	<i>133</i>
<i>Ilustración 22 Proceso de Filtración.....</i>	<i>133</i>
<i>Ilustración 23 Proceso de Floculación-Sedimentación.....</i>	<i>134</i>
<i>Ilustración 24 Planta Potabilizadora de Israel .....</i>	<i>134</i>
<i>Ilustración 25. Valores de sedimentación.....</i>	<i>137</i>
<i>Ilustración 26. Valores de Sedimentación .....</i>	<i>138</i>
<i>Ilustración 27. Curvas de Comportamiento.....</i>	<i>139</i>
<i>Ilustración 28. Resistencia de Corrientes.....</i>	<i>140</i>
<i>Ilustración 29. Ensayo de calidad del proceso de lavado .....</i>	<i>145</i>
<i>Ilustración 30. Ensayo de dosis optima de cloro.....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 31. Ensayo de duración del proceso de lavado.....</i>	<i>146</i>
<i>Ilustración 32. Ensayo de trazadores de floculador/sedimentador .....</i>	<i>147</i>

## **Introducción**

### **I. Antecedentes**

La planta potabilizadora se encuentra ubicada en la quebrada Piedra Bruja en Jacó, la planta surge en el 2006 a raíz de un recurso de amparo emitido por el Ministerio de Salud, por lo que obliga a la Municipalidad de Garabito y al AyA a construir un alcantarillado sanitario para Jacó, esto debido a que no existía en su momento y las aguas llegaban a contaminar los ríos, mares, quebradas, etc.

En el 2006 el acueducto era administrado por la municipalidad, luego el AyA, para efectos de atender el recurso de amparo indicado, solicita el traslado del acueducto a ellos con las únicas dos fuentes con las que se contaba, que era un pozo cerca del colegio público y la planta de tratamiento que lo único que realizaba era la remoción de partículas grandes (era como una planta solo para la irrigación). Es en ese entonces que el AyA decide construir una planta paquete no convencional esto debido a que el terreno con el que se contaba no tenía espacio para una planta de nueva tecnología o simplificada.

Después de su construcción se coloca en funcionamiento, con lo que ya fue definido y diseñado para ciertos parámetros establecidos mediante ensayos realizados en sitio. Desde entonces esta planta no se le ha realizado algún análisis a los procesos que la constituyen, esto ha hecho que la planta disminuya su eficiencia al 25 % debido a que los parámetros antes establecidos no son los mismos que se manejan en la actualidad.

Una planta como esta en el país no se encuentra una igual, esto debido a que esta planta es una planta paquete, se le conoce como ese nombre debido a que todos sus procesos se encuentran en un mismo espacio; dicha planta fue colocada de esta forma debido a que cuando la Municipalidad de Garabito entrega el manejo de la planta al AyA el espacio de trabajo con el que se contaba en su momento era muy pequeño para poder colocar una planta de tecnología simplificada, por esto el AyA saca a licitación una planta paquete, la cual es realizada por la empresa YAMIT ELI, es una empresa Israelí que se encarga de diseñar todo tipo de plantas, de acuerdo con las necesidades que se posea en el momento; esta empresa ha realizado trabajos a lo largo del mundo, colocando todo tipo de plantas convencionales y no convencionales. Al ser la

única planta en el país con esta modalidad no se encuentra información acerca de otra, solo se mencionan que la Municipalidad de Santo Domingo está planeando colocar una planta parecida en uno de sus pueblos, esto debido al fácil uso y lo práctico que es en cuanto a su mantenimiento y capacitación del personal, por el momento la Municipalidad de Santo Domingo estudia la posibilidad de una colocación, pero aún no se encuentra dentro de sus proyectos.

A nivel internacional, la misma empresa YAMIT ELI realizó un trabajo similar al que hizo en Jacó, en este caso se realizó una planta de tratamiento para la Municipalidad de Dan Mizrahi ubicada en Israel, de igual forma era para agua potable y cuenta con procesos como el prefiltrado, tratamiento químico, filtración de medio múltiples y desinfección, donde se le brinda este servicio a más de 145000 habitantes en la zona, recolecta el agua del río Dan que posee una turbiedad menor a los 15 NTU y al ser tratada la calidad del agua es menor a los 0.2 NTU, otra planta similar a la que se está evaluando sería la planta potabilizadora ubicada en República Dominicana para la Municipalidad de Nagua, en esta planta igual se trata el agua proveniente del río Morones que posee una turbiedad menor a los 150 NTU y al tener el proceso de potabilización al finalizar se entrega agua que cumple con los estándares de la Organización Mundial de la Salud, esta planta posee procesos como pretratamiento, baja filtración de medios, filtración de medios profundos y tratamiento químico. La mayoría de las plantas a lo largo del mundo se diseñan con respecto al espacio disponible en la zona que se desea tratar el agua, en el caso de estas plantas mencionadas son diseñadas con este mismo pensamiento, lo que las diferencia de estas a la que se encuentra en Jacó, Costa Rica es el espacio, pero todas cumplen con la misma función, que es poder dar un producto de calidad al consumidor que necesita de este recurso para sus actividades diarias. Es por esto que la planta de Jacó es única porque fue diseñada exclusivamente para este espacio, en cambio el resto posee una mayor área y por eso sus procesos a la hora de verlos, aunque realizan la misma función, se ven diferentes.

## **II. Planteamiento del Problema**

¿Según el funcionamiento para la cual se construyó la planta potabilizadora, está cumpliendo con las expectativas de diseño para la cual fue diseñada?

Según las visitas realizadas al sitio, la planta en estos momentos se encuentra con una deficiencia en el funcionamiento general que realiza para la potabilización del agua que se recoge de la quebrada Piedra Bruja, esto debido a que con anterioridad a la planta nunca se producían datos mayores a las 200 unidades de turbiedad y con una medición del caudal en la toma de 60 litros/s, actualmente la planta al llegar agua con más de 200 unidades de turbiedad esta deja de funcionar porque los procesos que la conforman no están aptos para poder potabilizar esa cantidad de unidades, provocando que la planta deje de funcionar en cuanto a recaudación de agua, y esto genera un atraso en la potabilización, además de que la planta entra en un estado de ineficiencia total, anteriormente el caudal era tres veces mayor que el que se recoge actualmente y el agua que llega a la quebrada ha sido modificada debido al alto crecimiento urbanístico en la zona, ya que no cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales y las aguas contaminadas llegan hasta acá.

Cuando la planta entra en funcionamiento, debido a sus procesos se debe de realizar una serie de pasos que actualmente no se están cumpliendo debido al poco mantenimiento que le realiza el AyA a cada uno de los procesos que lo conforman, uno de ellos es que dejaron de utilizar el coagulante en el mezclador estático (se ingresa un coagulante para que se dé el proceso de coagulación) se dejó de utilizar debido a que el funcionamiento del mezclador era ineficiente, provocando que el coagulante no cumpliera su tarea y esto genera que el agua no pueda ser utilizada por los habitantes de la zona. Este proceso ayuda no solo a la parte fisicoquímica, sino que ayuda a remoción bacteriológica; también en la planta no cuentan con un desarenador que es importante en aguas superficiales, esto debido a que sin desarenador puede ingresar cualquier cuerpo, arrastrando arena o cualquier tipo de material afectando a procesos siguientes.

Es por esto que el realizar una evaluación en cada uno de los procesos que conforman la potabilización del agua permite tener un panorama más amplio de lo que se tiene en la actualidad y lo que se puede mejorar en un futuro; además debido a estos problemas, el AyA ha tenido que desarrollar 5 pozos a lo largo de Jacó para poder sustentar de agua a toda la población.

### **III. Objetivo General**

Evaluar el proceso sanitario e hidráulico de la planta potabilizadora ubicada en Piedra Bruja en Jacó.

#### **IV. Objetivos Específicos**

- Analizar el funcionamiento de los procesos de purificación (como lo son mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección), mediante ensayos e inspecciones en el sitio.
- Evaluar los registros disponibles para determinar la calidad del agua que está llegando a la población y así poder conocer la eficiencia sanitaria de la planta potabilizadora.
- Aplicar un análisis de la situación actual de las fuentes de abastecimiento, la tecnología de la potabilización y focos de contaminación presentes en la zona.
- Plantear soluciones viables acerca de los problemas que se presenten.
- Verificar el cumplimiento con los parámetros sanitarios establecidos según las normas técnicas y leyes del país.
- Proponer un presupuesto acerca de las mejoras a realizar (si se requiere).
- Pre-diseñar hidráulica y sanitariamente el desarenador requerido para el pretratamiento del agua cruda (no incluye presupuesto ni diseño estructural).

#### **V. Justificación**

El agua constituye un 70 % del planeta tierra que se encuentra en ríos, océanos, lagos, entre otros; es un compuesto que posee unas características únicas de gran importancia para todos los seres vivos, es un elemento abundante en la naturaleza, determinante para procesos físicos, químicos y biológicos en todo el medio natural, posee propiedades únicas para el desarrollo de la vida, es un material flexible, un solvente sorprendente, gran capacidad calórica, es un reactivo perfecto para procesos metabólicos, es un recurso renovable pero no infinito.

A lo largo de la historia el ser humano ha tenido que modificar la naturaleza para su antojo, provocando grandes afectaciones a nivel global desde la deforestación hasta la contaminación de ríos, generando enfermedades por falta de sistemas de potabilización, afectación en la agricultura, ganadería e industria, desaparición de especies tanto de flora como fauna, conflictos en la relación entre el ser humano y la naturaleza, entre muchos más.

Debido a estas consecuencias el ser humano tuvo que idearse soluciones a estos problemas, en el caso del agua que es el tema para tocar en la investigación se empezaron a crear plantas potabilizadoras que su función principal es llevar a cabo los diversos procesos hasta conseguir el agua apta para el consumo humano, ayudando a maximizar los recursos en zonas donde registran grandes escases hídrica.

El objetivo de la investigación es poder evaluar y garantizar la salud de las comunidades a las que se les da este beneficio por parte del AyA y tener un mayor desarrollo social en la comunidad de Jacó, dando una solución a la problemática principal y generar un sistema óptimo en el agua potable asegurando la calidad de vida de las personas, de igual forma se pretende que la planta cumpla con todas las normas y parámetros de calidad de agua potable, así como los tiempos de retención, distribución del caudal y si esto no cumple poder realizar recomendaciones acerca de las mejoras que se puedan dar.

En la actualidad se le realiza un análisis al agua de coliformes fecales una vez al mes y de cloro constantemente, pero al proceso que realiza el tratamiento al agua se ha dejado de lado, creando un acumulamiento de datos importantes de los equipos que componen la planta y en vez de poder solucionar la problemática que se genera en la zona se crean pozos propuestos por el AyA para poder solventar las necesidades de la comunidad, situación que se pretende mejorar con el análisis y la evaluación, cabe destacar que en la planta nunca se le ha realizado dichas evaluaciones y que son de suma importancia para sus procesos, en el futuro al tener escasez de los pozos la planta no pueda dar abasto, dando un problema en la potabilización en Jacó. La evaluación de cada uno de los procesos de purificación ayudará a dar un mejor panorama de lo que se tiene en la actualidad, ver como realmente se mejora el proceso de potabilización.

## **VI. Alcances y limitaciones**

### ***Alcances***

- Evaluación preliminar en el área hidráulica y sanitaria de la planta potabilizadora, con el fin de conocer la eficiencia sanitaria e hidráulica que se presenta en la misma.

- Realizar estudio sanitario e hidráulico en la planta contemplando los cinco procesos necesarios para su funcionamiento
- Realizar muestreos para analizar la calidad del agua, contando con los recursos humanos y materiales para poder realizarlo.
- Se contará con el préstamo de los laboratorios especiales del AyA para realizar el análisis del agua que llega a la planta potabilizadora.
- Se realizará una actualización de los registros de la planta, esto con el fin de poder tenerlos actualizados y conocer las deficiencias con las que se cuentan; esto se da debido a que en la actualidad no se cuenta con registros recientes de la planta y es un proceso muy importante en la misma.

### ***Limitaciones***

- Escasa información por parte de la empresa encargada (no poseen documentos actualizados de la planta potabilizadora ni del agua de la quebrada).
- No se tomará en cuenta la parte estructural de la planta potabilizadora, ni planos de mejoras potenciales.
- Presupuesto preliminar en las mejoras a realizar (si este las requiere).
- El AyA deberá brindar información relevante acerca del tipo de planta con la que se estará trabajando, además de los rangos propuestos inicialmente para conocer si está cumpliendo o no con el objetivo inicial por la que se creó la planta.
- Se utilizarán estudios e información reciente de la quebrada y con base a esto se presentará una propuesta de mejora factible para el lugar, aunque el tiempo es reducido se intentará realizar la mayor cantidad de recopilación de información actual en la zona.

### **VII. Impacto**

Las plantas potabilizadoras son mecanismos que permiten solucionar problemas económicos, sociales y ambientales en la comunidad, el evaluar una planta potabilizadora comprende analizar el funcionamiento y el comportamiento hidráulico de todos los procesos que la conforman, de su eficiencia y su manera en la que se opera, su control, mantenimiento y

administración, con el fin de obtener información que comprende datos importantes acerca de las condiciones en las que se encuentra la planta, con dichos datos se puede determinar condiciones de mejora en la eficiencia del sistema y desarrollar optimización o ampliación de la planta.

El impacto que esta evaluación generaría a la comunidad de Jacó sería importante, ya que hace algunos años la población ha ido en crecimiento, provocando el desarrollo habitacional alrededor de este proyecto, generando mayor contaminación en la zona y como consecuencia a este crecimiento se ha tenido una afectación directa de la calidad del agua que llega a la planta potabilizadora, provocando que el agua contenga una turbiedad mayor (valores máximos) a la pronosticada cuando se construyó la planta, la investigación mostraría datos actualizados acerca de dichos valores y ver si la planta que se encuentra actualmente en la zona está cumpliendo con la función principal para la cual esta se colocó, debido a esto la planta en su inicio manejaba hasta 200 unidades de turbiedad, hoy en día al llegar a las 400 unidades o más se debe de detener su funcionamiento para que el agua captada anteriormente pueda realizar el proceso de potabilización e ingresarla al tanque de almacenamiento, este proceso se realiza cuando la misma se encuentra apagada, debido a que en su proceso ya no está capacitado para la remoción inicial. Ahora que suceda esto en la planta ha provocado otras soluciones para poder tener otros medios de potabilización, lo que hace que la planta no esté funcionando para lo cual fue creada y en estos momentos está en su uso mínimo, generando gastos altos innecesarios para el AyA por el personal en la zona, los productos utilizados en los procesos y los servicios de agua y luz que se usan en la misma. Por esta razón se desea volver a tener al 100 % la eficiencia de la planta para que realmente cumpla con su objetivo y todo pueda ser centralizado en un mismo lugar.

### **VIII. Hipótesis**

La siguiente investigación no contara con una hipótesis porque no tendrá preguntas a indagar acerca del tema, ya que lo que se desea encontrar se realizará por medio de métodos y cálculos que poseen su respectiva fórmula; conocer cómo se maneja realmente la planta potabilizadora, determinar si en la actualidad está cumpliendo con los estándares para lo cual fue construida y si esta lo requiere poder realizarle mejoras, proponer un presupuesto estimado y dar recomendaciones acerca de los pasos a seguir, esto con el fin de poder tener datos actualizados de la zona y no solo ayudaría a AyA para conocer la eficiencia de la planta sino que también ayudará a conocer si a la población se le está brindando el recurso de calidad que ellos necesitan.



## **Capítulo 1: Fundamentación Teórica**

### **1.1 Agua tratada**

El agua tratada es aquella que proviene ya sea de la superficie o subterránea donde la calidad ha sido modificada mediante procesos de tratamiento.

### **1.2 Agua Subterránea**

Es aquella que se produce mediante la infiltración que se produce en las capas subterráneas de rocas o estratos geológicos, las cuales pueden llegar a mantener su almacenamiento debido a la permeabilidad que presentan.

### **1.3 Agua Superficial**

Es aquella que se origina mediante las precipitaciones atmosféricas y estas escurren superficialmente mediante ríos, lagos, quebradas, entre otros.

### **1.4 Agua Potable**

Según el Reglamento de para la Calidad de Agua Potable en el artículo 4, menciona que es “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” (Salud, 2015).

### **1.5 Calidad del agua**

La calidad del agua se refiere a que tan limpia se encuentra una fuente, donde se permite la vida de peces y sea útil para el consumo humano. Para conocer la evaluación de la calidad de agua se realiza procesos o técnicas adecuadas para cada caso.

Para poder definir la calidad del agua se deben detallar bien las características fisicoquímicas y biológicas que las definen, esto ayudará a conocer el origen, su importancia en la salud, principales procesos de tratamiento que se le pueden realizar y los límites que se debe manejar según las leyes del país.

#### ***1.5.1 Características Físicas***

Algunas de las características físicas se pueden observar, por el olfato, entre otros; algunas de ellas son:

### **1.5.1.1 Turbiedad**

La turbiedad es una característica que puede ser observada, ya que es originada por partículas que están suspendidas en el agua y estas reducen la transparencia del agua. Esta característica se mide por medio de un turbidímetro o nefelómetro.

No se conocen los efectos directos de la turbiedad en la salud, pero afecta la calidad del agua y produce un rechazo por las personas; según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) el consumo humano de este tipo de agua debe tener preferiblemente una UNT y en ningún caso cinco o más UNT.

### **1.5.1.2 Sólidos y residuos**

Son aquellos que se obtienen luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura establecida.

### **1.5.1.3 Color**

Es una característica ligada con la turbiedad o puede presentarse por aparte, en estos momentos no se puede establecer la estructura química que es responsable del color. El color natural del agua se origina debido a las siguientes causas:

- Extracción acuosa de sustancias de origen vegetal.
- Descomposición de la materia.
- Materia orgánica del suelo.
- Presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos.
- Combinación de procesos descritos.

### **1.5.1.4 Olor y sabor**

Es una característica principal para que sea un motivo de aceptación o rechazo por parte del consumidor, se menciona que “falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.” (Vargas, 2004).

*Tabla 1. Cuadro de olores característicos del agua y su origen*

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	Coelosphaerium
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor a medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

### **1.5.1.5 Temperatura**

Es una de las características más importantes del agua, ya que acá influye el retardo o aceleración biológica, formación de depósitos, desinfección, entre otros.

### **1.5.1.6 pH**

Esta característica influye en la corrosión e incrustaciones en las redes de distribución, esta no influye en la salud, pero sí en los tratamientos de agua como en los procesos de coagulación y desinfección. Las aguas no contaminadas por lo general manejan pH de 5 a 9.

## **1.5.2 Características químicas**

### **1.5.2.1 Aluminio (Al)**

Es uno de los elementos más abundantes en la superficie terrestre, abarca un 8 % incluyendo el agua; se encuentra presente en el suelo, plantas y los tejidos de los animales y se usa en las industrias, casas, así como en medicinas.

En el cuerpo humano no afecta en su salud ya que esta se expulsa mediante la orina, aunque ha presentado desórdenes neurológicos, por eso la OMS estableció un parámetro de sus concentraciones en el agua para controlar estos efectos.

### **1.5.2.2 Arsénico (As)**

Este elemento se encuentra en la corteza, por esta razón son abundantes sus concentraciones en el agua y los alimentos debido a la disolución de minerales y menas. Para poder medir la toxicidad de este elemento se divide en varios, como los arsenatos (As (V)), los arsenitos (As(III)) los más tóxicos y la arsenita.

Comenta (Agua, 2007, pag. 36) que para la remoción del arsénico se debe de aplicar:

- Coagulación con hidróxidos metálicos, el sulfato férrico, cloruro férrico y alumbre con eficiencias de remoción del orden del 98 al 99 %. Para altas concentraciones se recomienda una coprecipitación en etapas, no es usual en potabilización.
- Adsorción sobre carbón activado o alúmina activada.
- Intercambio iónico con resinas de base fuerte y débil para eliminar tanto arsenatos como arsenitos con eficiencias del 82 al 100 %.
- Nanofiltración u ósmosis inversa.

### **1.5.2.3 Cianuros (CN)**

Los cianuros “interfieren con la disponibilidad de oxígeno en las células por la inhibición de la oxidasa, una enzima necesaria para transportar el oxígeno celular” (Agua, 2007, pag. 38). En altas concentraciones afecta la salud, provocando efectos en la constricción del torax, náuseas, vomito, mareo, dolores de cabeza, hipermea, hasta la muerte y en bajas concentraciones afectan la tiroide y sistema nervioso.

(Agua, 2007, pag 38) menciona que

El principal problema asociado con la eliminación del cianuro es la presencia del hierro soluble que actúa como interferencia. El agua con alta concentración de cianuros se trata por descomposición electrolítica y recuperación evaporativa, procesos que no son rentables para la potabilización. También es posible removerlos con intercambio iónico, ósmosis inversa y coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

### **1.5.2.4 Cloro residual libre**

Este elemento establece que no se posee una cantidad límite máxima de uso, sino que es una cantidad mínima que debe de tener el agua potable para la distribución y asegurar su transporte en la potabilización para que la contaminación no llegue hasta el usuario final.

### **1.5.2.5 Cloruros (Cl)**

El cloruro es un elemento que cuenta de varios compuestos como lo es con otro elemento o radical, estos aparecen en las aguas naturales y posee grandes concentraciones debido a la disolución de las rocas basálticas y sedimentadas, así como de las industrias.

El exceso de este elemento en la salud no es tan dañino, pero genera enfermedades en el corazón y el riñón, debido al consumo de alimentos con lo mismo. En los elementos constructivos genera una tasa elevada de corrosión en sus sistemas.

Para la eliminación se utilizan procesos de membrana (ultrafiltración y ósmosis inversa), intercambio iónico y destilación, esto con el fin de extraerlo del agua.

### **1.5.2.6 Dureza**

La dureza es causada por los elementos que componen un cuerpo, como lo son las sales de Ca y Mg o el Al, Fe, Mn, Sr y Zn; esta se divide en dos grupos: como la carbonata (temporal) y no

carbonata (permanente). Sobre este fenómeno no existe algún documento o investigación que pueda afectar la salud pública, pero al parecer el agua que posee esto provoca diarrea e indicios de problemas cardiovasculares.

Para poder eliminar se realiza un proceso de ablandamiento y se realizan varios métodos, el más usado es la precipitación del Mg y Ca, esto con cal y carbonato de sodio produciendo hidróxidos y carbonatos.

#### **1.5.2.7 Hierro (Fe)**

Este elemento se encuentra en la corteza terrestre en el agua superficial, es esencial para la salud y va en dependencia del sexo, edad y estado fisiológico. Para poder eliminar el hierro en el agua se emplea procesos de zeolitas o “greensand”, en precipitación por oxidación con aire de pH de 7 a 7,5, con sedimentación y filtración con oxidantes, intercambio iónico y ósmosis inversa.

#### **1.5.2.8 Fluoruro (F)**

Se encuentra en la corteza terrestre, es recomendado utilizar cierta cantidad propuesta por la OMS en la comida o en agua, este producto en concentraciones altas genera fluorosis dental (oscurecimiento del esmalte) y esqueléticamente daña los huesos.

Para poder eliminar el flúor es necesario la disminución de cal con magnesio y alumbre, además con la absorción elimina los fluoruros a menor escala, con resinas de intercambio iónico, alúmina activada o carbón de hueso, todos con ultrafiltración u ósmosis inversa.

#### **1.5.2.9 Manganeso (Mn)**

Es uno de los elementos más abundantes en el planeta ubicados en la corteza terrestre, que se encuentra junto con el hierro, es un elemento indispensable para la salud, todo con medidas propuestas por la OMS, en concentraciones bajas generan problemas estéticos en el agua como la parte visual que genera un incremento de la turbiedad y cloración.

Para poder remover este elemento se utiliza la precipitación de la oxidación con un pH alto, luego se usa la coagulación- floculación, sedimentación y filtración.

#### **1.5.2.10 Mercurio (Hg)**

El mercurio es depositado en la corteza terrestre por año debido a los gases de la actividad volcánica, a la evaporación y condensación del mar. Este se divide en tres tipos: es el mercurio elemental Hg, el mercurio inorgánico Hg y mercurio metílico CHHg.

Este en contacto con la piel causa dermatitis, también genera la enfermedad de Pink en niños y enfermedad Kawasaki. Para poder eliminar este elemento va en dependencia de la naturaleza para escoger un tipo de tratamiento, para la remoción del mercurio inorgánico se usa un intercambio iónico, la coagulación y floculación se utiliza en sulfatos de aluminio y sales de hierro.

#### **1.5.2.11 pH (potencial de hidrógeno)**

El pH es una característica importante para conocer la calidad del agua y los procesos químicos y biológicos que influyen en el tratamiento de este. Para poder controlar esto se utiliza un proceso conocido como neutralización que ajusta el pH para poder cumplir con los parámetros establecidos en la OMS.

#### **1.5.2.12 Plomo (Pb)**

Este elemento lo podemos encontrar en los alimentos, aire, humo de tabaco y en el barro vidriado; el contenido de plomo depende de varios factores como lo son el pH, temperatura, dureza del agua y tiempo de residencia del agua en la tubería.

Es un veneno fuerte y los efectos de toxicidad aguda como anorexia, vómito, malestar general y convulsiones, además de afectar también el sistema nervioso central, efectos gastrointestinales y cardiovasculares, daños renales y hepáticos. Para poderlo eliminar se realiza un intercambio iónico y ósmosis inversa se usan para el plomo orgánico e inorgánico.

#### **1.5.2.13 Sodio (Na)**

Se encuentra en la biosfera y corteza terrestre, lo constituyen los tejidos de animales y plantas; un consumo en exceso provoca alta presión en la sangre y enfermedades en el corazón, pero aún la OMS no posee claro las consecuencias que esto genera en el cuerpo humano.

Para poder eliminar la sal se realiza mediante el intercambio iónico o procesos de ósmosis inversa y nanofiltración, procesos rentables en zonas costeras.

#### **1.5.2.14 Yodo residual libre (I)**

Este se encuentra en el agua de forma de yoduro, este es utilizado para desinfectar el agua que se utiliza en situaciones de emergencia o utilizada en el campo.

#### **1.5.2.15 Zinc (Zn)**

Es un elemento abundante en la corteza terrestre, indispensable en todos los alimentos y en el agua que se utiliza para beber, su principal fuente es el alimento. Esta se encuentra en el agua debido al deterioro de las tuberías de hierro galvanizado.

Para poder eliminar el zinc del agua se da por precipitación en condiciones alcalinas, los hidróxidos metálicos son empleados comúnmente. La clarificación y/o filtración requiere la determinación de un valor óptimo de pH para los tipos de agua y la remoción de sólidos suspendidos previos.

### ***1.5.3 Características biológicas***

En las aguas se encuentra una gran cantidad de organismos que no se logran observar a simple vista, dichos realizan ciclos biológicos y químicos en el agua y algunos de estos no son buenos para la salud o para realizarle un tratamiento al agua, algunos de estos son:

#### **1.5.3.1 Algas**

Son plantas que presentan fotosíntesis y clorofila, que posee diferentes formas como lo son unicelulares, coloniales y pluricelulares. En las aguas superficiales se encuentran varios tipos que son algas azul-verdes, verdes, diatomeas y flageladas. En las aguas superficiales se encuentran las algas flotantes, epifitas, litorales y bentónicas

Algunos problemas que se presenta en las plantas de tratamiento son:

- Sabor y olor: Las algas al estar en contacto con el agua producen un olor a pescado, tierra con pasto, entre otros.
- Color: En cuanto al color del agua las algas clorófitas producen un color verde al estar en contacto o un color rojo originado por la oscilatoria Rubens.
- Toxicidad: Los tipos de algas azul-verdes son conocidas como cyanobacterias, que producen problemas gastrointestinales en los seres humanos.



- Corrosión: Las algas oscillatoria producen corrosión en el concreto armados y tubos de acero expuestos a la luz.
- Obstrucción de filtros: De acuerdo con los procesos, en la decantación no se realiza de la forma adecuada pueden pasar los organismos al filtro.
- Dificultad de decantación química: Algunas cyanobacterias cuando envejecen forman aire en su citoplasma y causan problemas.
- Alteración del pH: Se produce debido al consumo de CO<sub>2</sub>, con CaCO<sub>3</sub> y aumento del pH.

### **1.5.3.2 Bacterias**

Las bacterias son seres simples que generan grandes beneficios al sistema acuático, ya que de ellos dependen la gran parte de las transformaciones orgánicas que favorecen a la autodepuración del agua. Las bacterias que generan enfermedades son las patógenas afectando a todos los seres vivos.

#### **1.5.3.2.1 Bacterias Patógenas**

Estas bacterias son microorganismos unicelulares, donde su forma es de menos de un micrómetro hasta diez micrómetros de longitud y de 0,2 a un micrómetro de ancho. La Escherichia Coli tiene forma de bacilos y el resto forma de cocos o espirales. Dentro de su estructura están cubiertas por una pared celular fuerte y rígida, además de poseer una cápsula viscosa que es una capa protectora adicional, esto permite que pueda sobrevivir en el ambiente durante horas o días.

Las bacterias patógenas provienen de los seres humanos y animales de sangre caliente como lo son animales domésticos, ganados y animales silvestres, estos seres llegan al agua a través de aguas residuales sin tratar o con un tratamiento ineficiente en el agua, drenaje de las lluvias, descargas de las plantas de procesamiento de carne o escorrentías que pasan a través del ganado.

Las bacterias patogénicas con mayor interés en el área de la salud son el Vibrio cholerae, la Escherichia coli enteropatogenuca, la Salmonella typhi, la Shigella, el Campylobacter jejune y la Yersinia enterocolitica, entre muchas otras; estas se transmiten vía oral y la mayoría de ellas se mantienen en el agua en corto o moderado tiempo en dependencia de la resistencia al cloro y dosis infectiva alta. La bacteria Salmonella cumple papel importante en el reservorio animal, El Vibrio cholerae es capaz de multiplicarse en aguas naturales.

El tiempo de supervivencia del E. coli y la Salmonella es de 90 días, el de la Shigella se mantiene durante 30 días, el Campylobacter por 7 días y el Vibrio cholerae por 30 días.

- Escherichia coli

Es una bacteria que se forma en el intestino de los mamíferos, estas causan cepas que no son patógenas y otras causan enfermedades gastrointestinales por medio de una variedad de mecanismos. Las formas en las que se presenta son: enteropatógenas, enteroinvasivas, enterotoxigénicas y productoras de verocitoxina. Dicha bacteria es encontrada generalmente en aguas superficiales sin tratar (a pesar de la dificultad de saber si han sido tratadas o no). Para su eliminación se recomienda de tratamientos convencionales y desinfección.

### **1.5.3.3 Protozoarios**

Son seres unicelulares en los cuerpos acuáticos que favorecen a preservar el equilibrio en el ecosistema acuático, su incremento ocasiona alteraciones. Los protozoarios que generan enfermedades serían los parásitos.

### **1.5.3.4 Rotíferos Copépodos y otros crustáceos**

Son seres que participan en la cadena alimenticia en el agua, un incremento de esto provocaría un desequilibrio en el ecosistema y trae consecuencias como disminución del oxígeno, alteraciones de pH y el color del agua.

### **1.5.3.5 Insectos**

Los insectos desarrollan un ciclo evolutivo en el agua y produce huevos en forma temporal.

### **1.5.3.6 Coliformes totales**

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, esta se caracteriza por su capacidad de fermentar la lactosa, además cuentan con enzimas cromogénica B galactosidasa. Estas actúan como indicador de ONPG, este nutriente como fuente de carbono y consiste en el cambio de color en el medio de cultivo. Para su análisis se utiliza la prueba de tubos múltiples y filtración con membrana.

### 1.5.3.7 Coliformes termotolerantes (fecales)

Son aquellos que forman parte de un grupo de bacterias coliformes totales que están relacionadas totalmente con la contaminación fecal, es por eso que son conocidos como coliformes fecales; los mismos no se multiplican en ambientes acuáticos, ellos crecen en una temperatura de incubación de 44,5°C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de coliformes no tolerantes, se realiza pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de la calidad del agua. Dentro de las técnicas para su análisis son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana.

#### 1.1.1.1 Criterios biológicos de calidad para la selección de una fuente de agua cruda

Para poder determinar una excelente calidad de agua para el consumo humano se necesitan fuentes que se encuentren con baja o nula contaminación, que su caudal y calidad sean variables. Los niveles de contaminación fecal es una de las principales características para poder seleccionar una fuente, ya que con base a esto podemos tener el tipo de tratamiento y poder ver la parte económica, cual se adapta mejor al proyecto. Es por esto que la OMS y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente han evaluado la calidad de los recursos del agua en todo el mundo y obtuvieron la siguiente tabla:

*Tabla 2 Contaminación por coliformes termotolerantes en los cursos de agua por regiones del mundo*

Número de coliformes termotolerantes por 100 mL	Numero de ríos en cada región			
	América del Norte	América Central y Sur	Europa	Asia-Pacifico
<10	8	-	1	1
11-100	4	1	3	2
101-1.000	8	10	9	14
1.001-10.000	3	9	11	10

10.001-100.000	-	2	7	2
Total de ríos	23	22	31	29

Fuente: OPS/OMS, *La calidad del agua en América Latina*, Publicación Científica N.º 524, 1990.

## **1.2 Criterios de calidad para la selección de una fuente de agua cruda**

### **1.2.1 Criterios Físicoquímicos**

En esta sección se establecen criterios para poder seleccionar el agua cruda aceptable para los procesos de potabilización, es por eso que es necesario dividir este concepto en tres grandes grupos físicoquímicos, que serían los siguientes:

#### **1.2.1.1 Contaminantes Inorgánicos**

En este grupo su presentación es difícil, ya que los métodos de tratamiento no son efectivos, si la fuente de agua posee los contaminantes inorgánicos más tóxicos (son aquellos de difícil remoción), se considerarían otras fuentes que no posean de estos.

#### **1.2.1.2 Contaminantes Orgánicos**

Los contaminantes orgánicos poseen dos tipos: contaminante orgánico biodegradable y el no biodegradable; en el contaminante orgánico biodegradable son aquellos que son de fácil remoción y no generan problemas durante los procesos de tratamiento, eso solo pasa si siempre y cuando no sean excesivos en el agua. Los contaminantes orgánicos no biodegradables son un problema complicado de tratar en las plantas convencionales, muchas veces se utiliza carbón activado pulverizado o granular en los filtros.

#### **1.2.1.3 Contaminantes radiológicos**

En este grupo se divide en dos tipos: la contaminación radiológica natural y la provocada por el hombre. Los radios núcleos naturales ocurren en aguas subterráneas, pero con tratamiento de cal-soda permite que este se ablande para eliminarlos, en los radios núcleos artificiales son residuos de plantas atómicas o fallas en el manejo de los mismos.

### ***1.2.2 Criterios de selección de la fuente de agua cruda tomando en cuenta los aspectos fisicoquímicos***

Se deben de tomar aspectos importantes para la selección de una fuente potabilizadora, esas consideraciones serían las siguientes:

- a. Origen de la fuente e identificación de sus afluentes y probables contaminantes.
- b. La calidad del agua es importante para conocer los parámetros en los que estos pueden influir en la salud del consumidor.
- c. Comportamiento del agua, donde se incluye los factores ambientales que influyen en él.
- d. Eficacia en el tratamiento de remoción de los componentes identificados.
- e. Parámetros establecidos según las normas de calidad del agua.

### ***1.2.3 Criterios de calidad del agua para consumo humano: las Guías de Calidad para aguas de Consumo Humano de la OMS***

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS es una herramienta válida para la calidad del agua destinada para el consumo del hombre y estas deben de tener los siguientes criterios:

1. Los elementos establecidos en los parámetros que deben asegurar la calidad y aceptabilidad del agua, esto no debe presentar riesgos en la salud pública.
2. La calidad del agua debe tener aceptación para el consumo humano y todas las actividades para las que se utiliza.
3. Dichos elementos dan señal para que supere un valor:
  - Investigar la causa.
  - Consulta a las autoridades de la salud pública.

### **1.3 Plantas de Tratamiento de agua o Plantas Potabilizadoras**

La planta de tratamiento es el conjunto de procesos convenientes para la remoción completamente de los contaminantes biológicos y parcialmente los contaminantes físicos y químicos presentes en el agua, con el fin de cumplir con los parámetros aceptables estipulados en las leyes y normas que los rigen.

#### ***1.3.1 Principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua***

##### **1.3.1.1 Transferencia de sólidos**

Posee varios procesos, que serían:

1. Cribado o cernido: En este proceso el agua pasa a través de tamices que retienen los sólidos de gran tamaño, donde separan ramas, palos y residuos sólidos.
2. Sedimentación: En este proceso se remueve mediante la fuerza gravitacional partículas en suspensión densas, se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores.
3. Flotación: En este proceso los sólidos donde poseen menor densidad se colocan en la parte de arriba para ser retirados por desnatado, acá se remueven grasas, aceites, turbiedad y color.
4. Filtración: En este proceso el agua se introduce a un medio poroso (con arena) donde actúan mecanismos de remoción. Algunos materiales utilizados además de la arena son antracita, granate, magnetita, carbón activado, cáscara de arroz, cáscara de coco quemada y molida, entre otros.

##### **1.3.1.2 Transferencia de iones**

1. Coagulación química: En este proceso se le agrega coagulantes al agua, la cual transfiere iones para remover turbiedad y color. Algunos coagulantes utilizados son las sales trivalentes de aluminio e hierro.
2. Precipitación química: En este proceso se le agrega una sustancia química al agua para remover hierro y dureza carbonatada (ablandamiento) mediante la adición de cal.
3. Intercambio iónico: En este proceso se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio que al pasar el agua mediante un proceso poroso se eliminan los residuos.

4. Absorción: En este proceso realiza una remoción de iones y moléculas presentes en el agua, acá se remueve los olores y sabores mediante el carbón activado en polvo.

#### **1.3.1.3 Transferencia de gases**

1. Aereación: En este proceso se realiza mediante la caída de escaleras, cascadas o chorros de agua donde se le aplica gas mediante burbujeo o aspersion; este proceso remueve el hierro y manganeso.
2. Desinfección: En este proceso se le aplica gas cloro y ozono al agua que se encuentra ya tratada.
3. Recarbonatación: En este proceso se le aplica un anhídrido carbónico para que baje el pH del agua.

#### **1.3.1.4 Otros Procesos**

Además de los procesos que ya se explicaron anteriormente, para el tratamiento también se usan otros como:

1. Estabilización de solutos: Este proceso consiste en transformar un soluto en una forma inocua sin llegar al proceso de remoción, un ejemplo sería el agua de bicarbonato soluble cuando se le agrega la cal o pasa agua en los lechos de mármol.
2. Desalinización: En este proceso se remueve el exceso de cloruros en el agua transformándolo en dulces, se realiza mediante la destilación, ósmosis inversa, entre otros.
3. Fluorización: En este proceso se le agrega fluoruros al agua para evitar caries en los dientes, es utilizado a nivel de los seres humanos para cuidados higiénicos.

#### **1.3.1.5 Transferencia molecular o de nutrientes**

En este proceso se purifica el agua, donde las bacterias degradan la materia orgánica, incluido los gases de descomposición. Esto se lleva a cabo en la filtración que remueve los microorganismos.

### ***1.3.2 Tipos de plantas de tratamiento de agua***

Estas se clasifican de acuerdo a los tipos de procesos que poseen, también va de acuerdo a la tecnología que se utilizó en cada proyecto. Se dividen en:

### 1.3.2.1 Plantas de filtración rápida

Se conocen como de filtración rápida porque manejan velocidades de operación entre los 80 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, de acuerdo con las características del agua y la disposición de mantenimiento de las instalaciones; debido a sus altas velocidades en este tipo se maneja un retrolavado o lavado ascensional de la unidad con una duración de 5 a 15 minutos, esto permite darle mantenimiento y volviéndolo a su porosidad inicial.

En este tipo se manejan dos soluciones en dependencia de la calidad del agua, los cuales serían:

#### 1.3.2.1.1 Planta de filtración rápida completa

Este tipo de planta la conforman los procesos de coagulación-floculación, sedimentación o decantación, filtración y desinfección; en la coagulación-floculación se realiza dos procesos: se agita el agua para tener un esparcimiento rápido del coagulante de la masa (mezcla rápida) seguida de un esparcimiento lento para una aglomeración rápida y crecimiento del floculo.

La coagulación da una mejor eficiencia de remoción de partículas en el proceso de decantación, luego en el filtrado se da un pulimiento del agua y por último en la desinfección remueve microorganismos patógenos que no se eliminan en el filtro y este evita la contaminación de agua.

*Tabla 3 Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida aceptable*

Parámetros	90 % del tiempo	80 % del tiempo	Esporádicamente
UNT	<1000	<800	<1.500; si excede considerar presedimentación
UC	<150	<70	
NMP de coliformes termotolerantes/100mL	<600		Si excede de 600 se debe considerar predesinfeccion.



Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

### 1.3.2.1.2 Planta de filtración rápida directa

En este tipo de planta se manejan procesos como la coagulación-mezcla rápida y filtración, aplicable solo en aguas claras. Estas son ideales para el agua proveniente de represas o embalses debido a que las aguas son claras y muy poco contaminadas.

*Tabla 4 Límites de calidad del agua para plantas de filtración directa*

Alternativa	Parámetros	90 % del tiempo	80 % del tiempo	Esporádicamente
Filtración directa descendente	UNT	25-30	<20	<50
	UC	<25		
	NMP de coliformes termotolerantes/100mL	<2.500		
	Concentración de algas (unidades/mL)	<200		
Filtración directa ascendente	UNT	<100	<50	<200
	UC	<60		<100
Filtración directa ascendente-descendente	UNT	<250	<150	<400
	UC	<60		<100

Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

*Tabla 5 Otros parámetros de calidad importantes para la filtración directa*

Parámetros	Valores recomendados
Sólidos suspendidos (mg/L)	<50
Carbono orgánico total (mg/L)	<5
pH	5.5-6.5
Fósforo total (mg/L)	<0.05
Nitrógeno total (mg/L)	<5
Clorofila ( $\mu\text{g/L}$ )	<10
Coliformes totales (colif/100)	<2.500
Hierro (mg/L)	10
Manganeso (mg/L)	2

Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

### **1.3.2.2 Plantas de filtración lenta**

En este tipo de planta se opera con velocidades que rondan entre los 0,10 y 0,30 m/h, con una tasa muy baja en comparación con los filtros rápidos; también son conocidos como filtros ingleses. Está construida con filtros lentos y la constituyen procesos como desarenador, pre-sedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava y lenta esto en dependencia de la calidad del agua.

### **1.3.3 Sistemas de agua potable**

Para que un sistema de abastecimiento de agua potable pueda tener la mayor calidad y dotación para la población, es necesario contar con los siguientes componentes según comenta (IDROVO, 2009-2010): “Microcuenca, Fuente de agua y Captación, Conducción, Planta de

purificación del agua de la fuente, Reservas, Red de Distribución, Sistema Tarifario, Operación y Mantenimiento”.

### ***1.3.4 Fuentes de agua de origen superficial***

En la mayoría de tratamientos su principal fuente son las aguas superficiales con fines para el consumo humano, debido a la gran contaminación que se presenta en este recurso y que se va agravando día con día debido al mal manejo de los residuos sólidos, de las aguas sanitarias, de la poca conciencia de la población, ha desarrollado a lo largo del mundo gran cantidad de plantas potabilizadoras para que se pueda utilizar dicha fuente en las necesidades cotidianas del ser humano y además esto beneficia al medio ambiente.

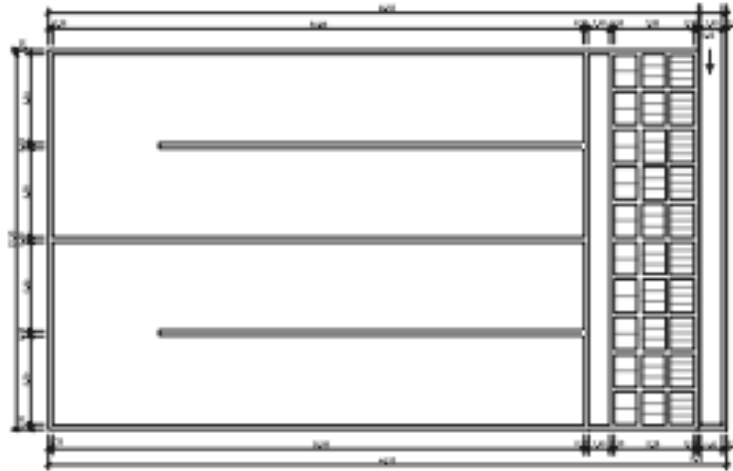
### **1.4 Clasificación de las plantas de filtración rápida por el tipo de tecnología utilizada**

Esta clasificación va en dependencia de recursos económicos, humanos y materiales disponibles para cumplir con el objetivo de la planta; el tipo de tecnología para la filtración rápida se clasifica en:

#### ***1.4.1 Sistemas de tecnología convencional clásica o antigua***

Este tipo de sistema es el más antiguo de los tres, ya que se ha venido utilizando desde 1910-1920, una gran característica que este presenta es que el decantador rectangular con flujo horizontal se diseña con tasas de 10 y 60  $\frac{m^3}{m^2*d}$ . Dentro de las mejoras que se realizaron a lo largo de estos años, fue que se agregaron equipos mecánicos y actualmente la mayoría se maneja por sistemas mixtos; uno de esos equipos fue el retromezclador, ya que no se contaba con este, los floculadores podrían ser mecánicos o hidráulicos y los decantadores rectangulares de flujo horizontal y vuelta en U. Otra característica son que cuentan instalaciones con una gran parte de tubos donde pasa el agua ya filtrada, agua para lavado y el desagüe de retrolavado.

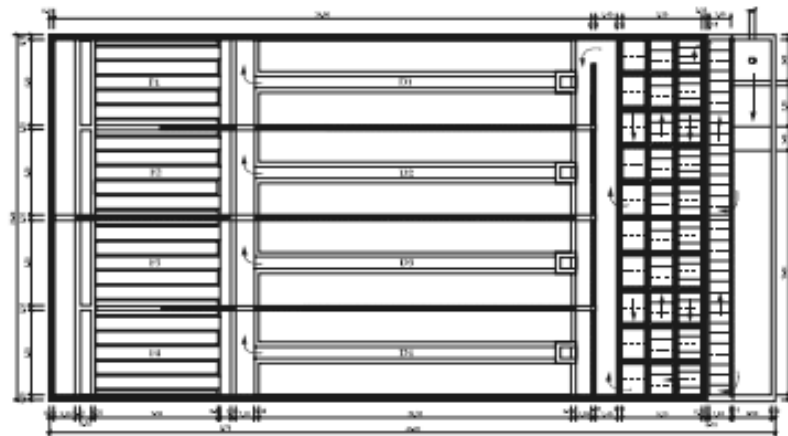
El diseño de la ilustración 1 muestra un floculador y decantadores de vuelta en U, con capacidad para poder tratar 250 L/s.



*Ilustración 1 Sistema convencional antiguo*

Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

En la ilustración 2 se muestra el diseño de la misma planta de la ilustración 1 pero se optimiza en las mismas estructuras, pero lo que cambia es que está compuesta por dos floculadores hidráulicos ampliados, cuatro decantadores y una batería de cuatro filtros de tasa declinante y lavado mutuo, posee canales intermedios de interconexión entre las unidades para darle mayor flexibilidad a la operación. De este modo va a poder tratar 550 L/s a un bajo costo.



*Ilustración 2 Sistema convencional optimizado*

Fuente: Vargas, L. d. (2014). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

#### ***1.4.2 Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS***

Este tipo de sistema se empezó a utilizar desde 1970 y conforme pasan los años se ha ido mejorando alrededor del mundo, las unidades ocupan una extensión de los componentes de un 25% al 30% del área que normalmente ocupa un sistema convencional de la misma capacidad, esto debido al cambio de forma de algunos procesos.

El proceso de este tipo, en la parte de los decantadores, estos poseen placas inclinadas unos 60°, de modo que hace que su área en la suma de las proyecciones horizontales en todas las placas; en los filtros proyectan baterías para su operación, estos poseen velocidades decrecientes entre lavado y lavado, de modo que este proceso se divide en dos: donde uno está en carrera empezando y el resto terminando. Al ser un sistema con altos estándares de tecnología, maneja muchas ventajas, que son las siguientes:

- Eficiencia.
- Fácil manejo en operación, mantenimiento y construcción; esto debido a que el equipo que la constituye se reduce al mínimo.
- Económica; esto gracias a un estudio donde se nota que el costo inicial es de  $\frac{1}{3}$  o la mitad de otros tipos de sistemas.

#### ***1.4.3 Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados***

Este sistema está integrado por decantadores de mando de lodos de suspensión, donde posee procesos de mezcla rápida, floculación y decantación o por lo menos posee la floculación y decantación. En los filtros de este sistema existe gran cantidad de equipos que están ubicados en la galería de tubos. Esta tecnología fue importada de los países más desarrollados y la característica más importante es que posee muchos equipos en los procesos a los que se le lleva a cabo. Al ser una tecnología de gran calidad requiere lo siguiente:

- Personal calificado para el área de mantenimiento y operación de los equipos.
- Mantenimientos preventivos constantes y existencia de equipos de repuestos, esto para evitar atrasos en su proceso.
- Confiable cuatro eléctrico.

### **1.5 Potabilización**

En un sistema de potabilización su objetivo principal es proveer una fuente de agua acorde con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, decretado por Sistema Costarricense de Información Jurídica, de forma segura, confiable y con un costo no tan elevado; es por esto que para lograr potabilizar una fuente se necesitan procesos que remuevan los compuestos considerados como agentes contaminantes y que estén presentes en la fuente que se desea obtener este suministro.

(Agua, 2007) menciona que en cuanto a la calidad se manejan varios objetivos, que serían:

- Segura, sin compuestos químicos y/o organismos patógenos que pongan en riesgo la salud de los consumidores.
- Aceptable, que no tenga un sabor o color desagradable.
- Clara, libre de materia suspendida y turbiedad.
- Razonablemente blanda, es decir, que los usuarios no requieran grandes cantidades de detergentes y jabones para la ducha, lavar ropa y trastes.
- No corrosiva al sistema de distribución.
- Con bajo contenido orgánico, para evitar crecimiento biológico en el sistema de distribución y afectar la calidad del agua (pág 60).

#### ***1.5.1 Estudios preliminares***

Cuando ya se tenga estipulado la construcción de la planta, seleccionado el sitio de construcción y definida la fuente de abastecimiento se debe de realizar estudios con mayor detalle que serían: Calidad del agua y Pruebas de tratabilidad.

### **1.5.1.1 Calidad del agua**

Es necesario conocer la calidad del agua y como esta varia en el tiempo en dependencia en su entorno, esto permite seleccionar procesos útiles que conformen la planta de tratamiento, además esta prueba es ideal que se lleve a cabo con la prueba de tratabilidad para que la información que se determina se pueda utilizar.

#### **1.5.1.1.1 Cuerpos Superficiales**

Es necesario realizar una cantidad de muestras para conocer la variabilidad de la fuente, se debe de tener en cuenta que se debe de realizar en las dos estaciones y a diferentes profundidades; cuando el cuerpo está en movimiento el muestreo se realiza a un metro de distancia. Los parámetros que se toman en cuenta son:

- Indispensables: Estos son los que determina el tipo de tratamiento a utilizar y si es necesario el cambio de la fuente (es el paso inicial).
- No indispensables: Son los que se relacionan con otros parámetros y no son los que se necesitan para determinar un tipo de tratamiento (estos se evalúan en las pruebas de tratabilidad).
- Eventuales: Estos se relacionan con el tipo de suelos y sus condiciones geohidrológicas.

#### **1.5.1.2 Pruebas de Tratabilidad**

La prueba de tratabilidad consiste en someter el agua a procesos en los que se puedan eliminar los contaminantes que se exceden según los parámetros ya establecidos, estas pruebas son independientes de la aplicación a la tecnología ya determinada en el lugar, estas sirven para conocer el mecanismo de remoción que se les aplica a los procesos ya definidos y obtener parámetros de diseño de la planta.

## **1.5.2 Procesos de la potabilización**

### **1.5.2.1 Coagulación**

Es un proceso en el cual se esparcen las diferentes sustancias químicas y gases en el tratamiento del agua, generalmente se le agrega sales como aluminio y hierro, produciendo dos fenómenos:

1. El primer fenómeno es químico, ya que el coagulante reacciona con el agua y esta forma partículas hidrolizadas con carga positiva, esto depende de la cantidad de coagulante y pH en la mezcla.
2. El segundo fenómeno es físico, ya que transporta las partículas hidrolizadas a las partículas contaminadas que posee en agua y provoca contacto en las mismas.

Es un proceso sumamente rápido, en dependencia de las características del agua como la temperatura, pH, y otros. Es también conocido como mezcla rápida. La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración. (Vargas, 2004, pág. 153).

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida. (Rojas, 1999, pág. 49).

Los mezcladores mecánicos son los que se realizan por medio de impulsos rotatorios de tipo turbina o hélices, son construidos para las grandes industrias para que de forma violenta se agite el agua y se dé una mezcla rápida del coagulante. El método usual consiste en instalar cuatro o más pantallas, de un ancho igual a 1/10 del diámetro del tanque, para romper el movimiento másico rotatorio y promover la mezcla vertical; sin embargo, en tanques de concreto cuadrado, los baffles se omiten a menudo. (Rojas, 1999, pag. 53).

Los mezcladores hidráulicos están ejecutándose por medio de la turbulencia que existe en el flujo, se utilizan cuando existe gran cantidad de energía en el flujo. La ventaja de este mecanismo es que no requiere de equipo mecánico en su instalación.



### **1.5.2.1.1 Partículas Coloidales**

Por lo general una partícula coloidal presenta diámetros entre los 1 y 1000 milimicrómetros y su comportamiento va en dependencia del medio en el que se encuentra y de dónde proviene, estas son las causantes de la turbiedad en el agua.

### **1.5.2.1.2 Estabilidad e inestabilidad de los coloides**

Los coloides cuando están suspendidos en el agua están sujetos a ya sea encontrarse estabilizadas o desestabilizadas, en la fuerza estabilizada se encuentra:

- Carga de partículas.
- Hidratación.

Los factores que se presentan en la desestabilización son:

- La gravedad: No es relevante.
- El movimiento browniano: Permite que las partículas estén en contacto, por eso se desestabiliza.
- Fuerza de Van der Waals: Factor importante porque es la principal fuerza atractiva entre los coloides.

### **1.5.2.1.3 Sustancias químicas empleadas en la coagulación**

El coagulante más utilizado en Costa Rica durante mucho tiempo es el:

**Sulfato de aluminio:** El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), es el producto de una reacción de hidróxido de aluminio, bauxita y arcillas con ácido sulfúrico. Es un material soluble y las reacciones son ácidas. Dentro de sus formas, existen cinco, las cuales serían de 27,18,16,10 y 6 moléculas de agua donde el número 18 es el más importante ya que se cristaliza a temperaturas ordinarias y seguido se encuentra el número 16, esta se separa de sus disoluciones caliente como cristales rómbicos.

El sulfuro de aluminio se presenta en varias formas como lo es en líquido, granular o terrones, donde el sulfuro de aluminio granulado es de color blanco, el sulfuro de aluminio líquido es tan claro que permite cualquier lectura de flujo sin dificultad.

El empaque de este material cuando se encuentra en forma granular debe suministrarse en sacos tejidos de fibra sintética o natural o en bolsa interior de polietileno que permite que se aísle el producto de alguna humedad. La venta del producto se realiza en sacos de 25 o 50 kg, cada saco tiene información del contenido, peso neto y nombre del fabricante.

El transporte de este material debe realizarse en medios de transporte que lo protejan contra la intemperie y debe de transportarse en camiones tanque.

El sulfato de aluminio debe de cumplir con requisitos físicos y químicos:

- Requisitos físicos: El sulfato de aluminio granular debe tener una granulometría de tal forma que, en la malla nominal de 4,75mm no se haya quedado ningún material retenido y que el 90% pase por la malla nominal de 2mm.
- Requisitos químicos: Debe de cumplir con la siguiente tabla 6.

*Tabla 6. Composición Química*

Características	Composición Química	
	Sólido	Líquido
Contenido máximo de materia insoluble en agua	0,5	0,2
Contenido mínimo de aluminio total soluble Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	7,5
Contenido máximo de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	1
Contenido mínimo de acidez (aluminio libre como Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,05	0,02

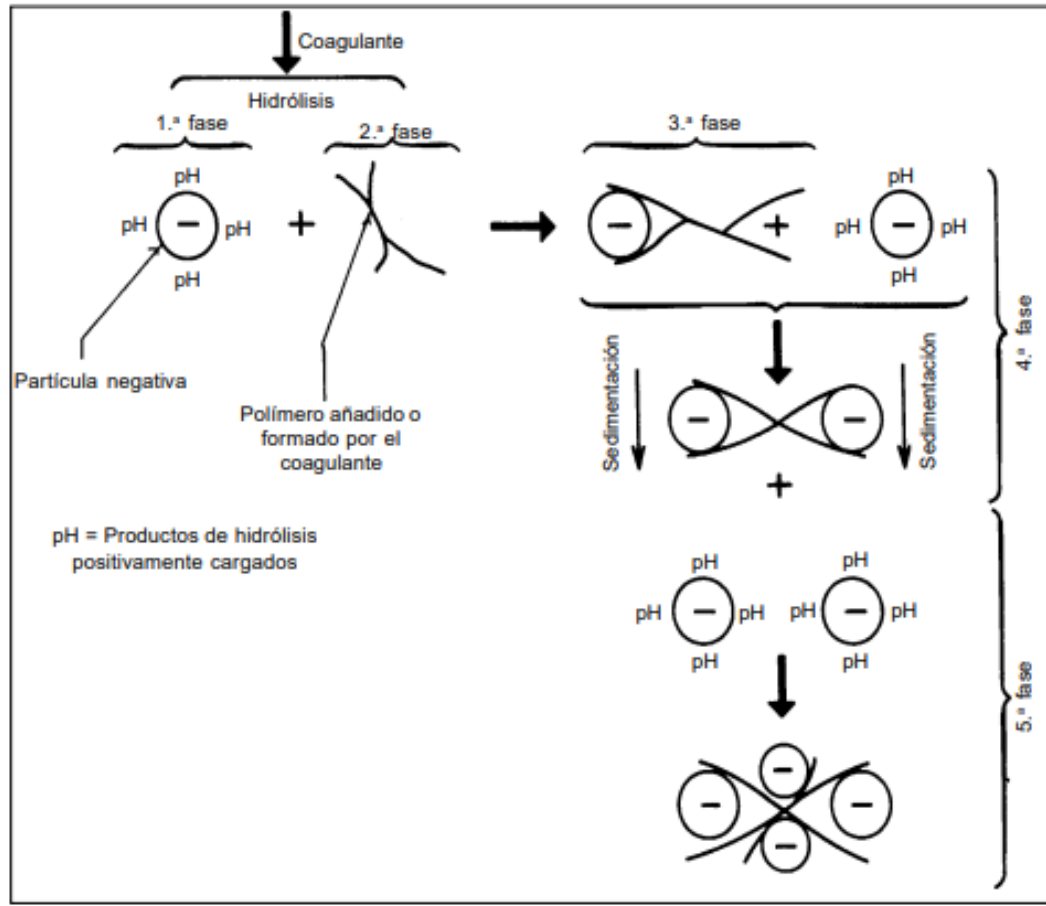
El sulfato de aluminio no debe de tener impurezas que excedan ciertos límites según tabla 7.

*Tabla 7. Límite para impurezas químicas*

Límite para impurezas químicas	
Características	Límite (mg/kg)
Arsénico (As)	30
Cadmio (Cd)	7
Cromo (Cr)	30
Plomo (Pb)	30
Mercurio (Hg)	1
Selenio (Se)	7
Plata (Ag)	30

#### **1.5.2.1.4 Etapas de la coagulación**

1. Se produce una hidrólisis en los iones y en consecuencia a esto se da una polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
2. Se absorbe estas especies en la interfaz de solución sólida y logra desestabilizar el coloide.
3. Se aglomeran las partículas desestabilizadas mediante procesos e interacciones químicas.
4. Se aglomeran estas mismas nuevamente, pero se desestabiliza por fuerza de Van der Waals.
5. Formación de flóculos.
6. Precipitación de hidróxido metálico.



*Ilustración 3 Modelo Esquemático del proceso de coagulación*

Fuente: Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.

### 1.5.2.2 Floculación

En este proceso lo que sucede es la aglomeración de las partículas coaguladas, en donde se desestabilizan los coloides, que genera una mezcla suave de partículas debido al incremento de colisiones entre ellas sin romperse, en pocas palabras se aglomeran las partículas de mayor peso y tamaño que sedimentan con mayor eficiencia.

#### 1.5.2.2.1 Procesos de floculación

Debido a la colisión que se genera en este proceso, se dan tres mecanismos de transporte para dichas partículas:

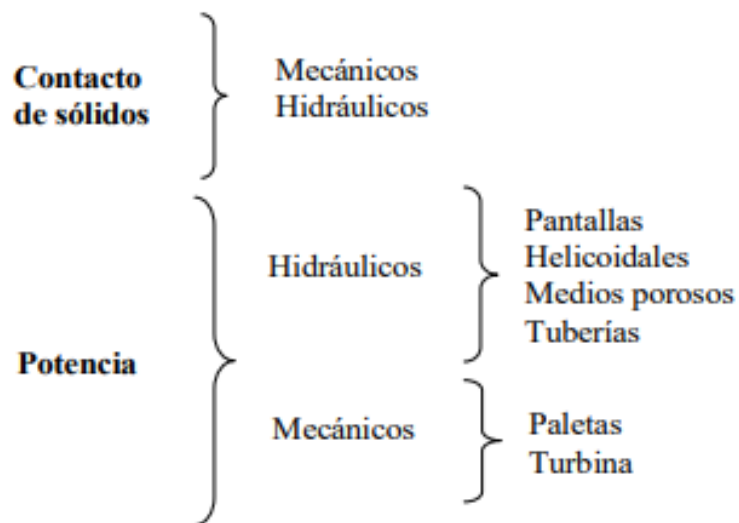
- Floculación browniana: Conocida como “pericinética”, es este se da la energía térmica que se encuentra en el fluido.
- Floculación gradiente de velocidad: Conocido como “ortocinética”, esta se genera en la masa que se encuentra en movimiento del fluido.
- Sedimentación diferencial: Se da en la precipitación, cuando las partículas grandes se golpean con las pequeñas, ambas partículas se aglomeran y van lento en su descenso.

#### **1.5.2.2.2 Floculadores**

Estos se clasifican de acuerdo con el tipo de energía que se utiliza, que serían:

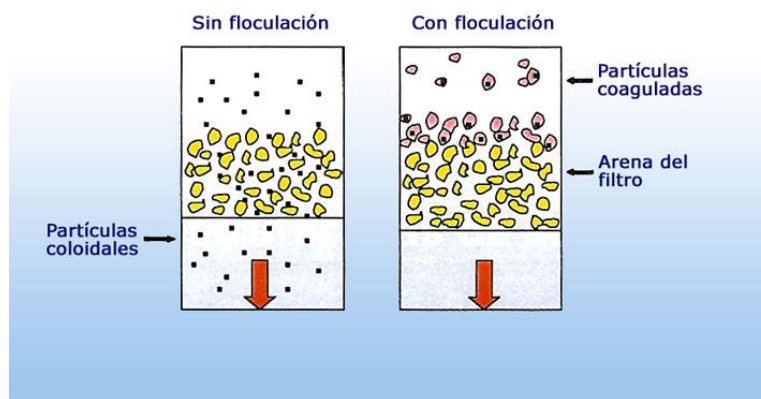
- Floculadores de contacto de sólidos: Conocidos como “manto de lodos”, se controlan por los sólidos que poseen. Este tipo no es utilizado en proyectos de plantas de tratamientos, pero generalmente son ofrecidos por fabricantes de los equipos que mencionan que poseen grandes ventajas en su uso. “Normalmente forman parte de los tanques de decantación de flujo vertical y constituyen unidades relativamente compactas.” (Vargas, 2004, pág. 289).
- Floculadores de potencia: Este tipo de floculadores son aquellos que arrastra las partículas en el flujo del agua por medio del tanque de floculación, haciendo que no exista concentración de sólidos. Este se divide en:
  1. Hidráulicos: Estos utilizan energía hidráulica; este se divide en:
    - 1.1. De pantallas: Son los más utilizados en el mercado, del flujo horizontal o vertical. El agua circula como un “vaivén”, donde sube la corriente y baja, esto se da sucesivamente.
    - 1.2. Floculador Alabama: Este floculador posee compartimientos ligados entre sí en la parte inferior con unas curvas de 90° hacia arriba, al igual que las pantallas va de ascendente y descendente.

- 1.3. Helicoidal: El agua ingresa por la parte superior y sale a una cámara de floculación mediante una curva conectada a las guías paralelas (como una turbina) y genera un movimiento helicoidal.
- 1.4. De medio poroso: Esta se aplica en instalaciones pequeñas porque su eficiencia es alta y es de costo muy bajo.
- 1.5. Floculadores de mallas: Se utiliza las mallas con una abertura de 2 y 20 milímetros con la finalidad de funcionar como un filtro para la remoción de cuerpos flotantes.
2. Mecánicos: Este tipo de floculadores utiliza energía externa (motor eléctrico, entre otros).
- 2.1. De paletas: Son los más utilizados por el movimiento paralelo o perpendicular que genera en su eje.
- 2.2. De turbina: Se dimensionan del mismo modo que los mezcladores rápidos. Como las velocidades periféricas máximas son superiores a 0,75 m/s, el agua tenderá a girar acompañando el movimiento de la turbina, a no ser que se prevea la instalación de deflectores o pantallas para estabilizar el movimiento. (Vargas, 2004, pág 302).



*Ilustración 4 Clasificación de floculadores*

## PRINCIPIO DE FLOCULACIÓN



*Ilustración 5 Principio de floculación*

Fuente: N/A. (22 de mayo de 2015). *loshijosdeguidinio*. Obtenido de <https://loshijosdeguidinio.wordpress.com/2015/05/22/floculacion/>

### **1.5.2.3 Sedimentación**

Este proceso es la remoción gravitacional de las partículas que se encuentran en suspensión en el agua a tratar, dichas partículas deben tener un peso mayor al del fluido para que se pueda hacer la remoción de la mejor forma. Este proceso se dice que se parece mucho al proceso de filtración porque ambas remueven partículas, la diferencia entre ambos es que en la filtración la remoción de las partículas se hace a aquellas a las que su densidad se encuentra similar a la del agua y que no pudieron ser removidas en la sedimentación. Además, dicho proceso es utilizado para la clarificación en el tratamiento del agua.

#### **1.5.2.3.1 Tipos de sedimentación**

- Sedimentación de partículas discretas: Este tipo de sedimentación se le conoce así porque sus partículas no cambian las características durante su caída; este tipo de sedimentación se presenta en los desarenadores, sedimentadores y presedimentadores paso antes de la coagulación en una planta de filtración rápida y en los sedimentadores en una planta de filtración lenta.

- Sedimentación de partículas flocculentas: En este tipo de sedimentación se le conoce de esa manera debido a la aglomeración de las partículas desestabilizadoras en consecuencia de las partículas químicas; durante su caída en este proceso si se cambian sus características en la partícula. Se le conoce también como decantación.
- Sedimentación por caída libre e interferida: En este tipo de sedimentación se le conoce así debido a que cuando existen gran cantidad de partículas, están generando colisiones entre sí y ocurre un depósito masivo en vez de ser uno por uno.
- Sedimentación por compresión: También conocido como “zona de compresión”, acá las partículas que ya se encuentran en contacto forman una masa compacta, con mayor consolidación; se presentan en concentraciones de lodo en la decantación de mandos de lodos.

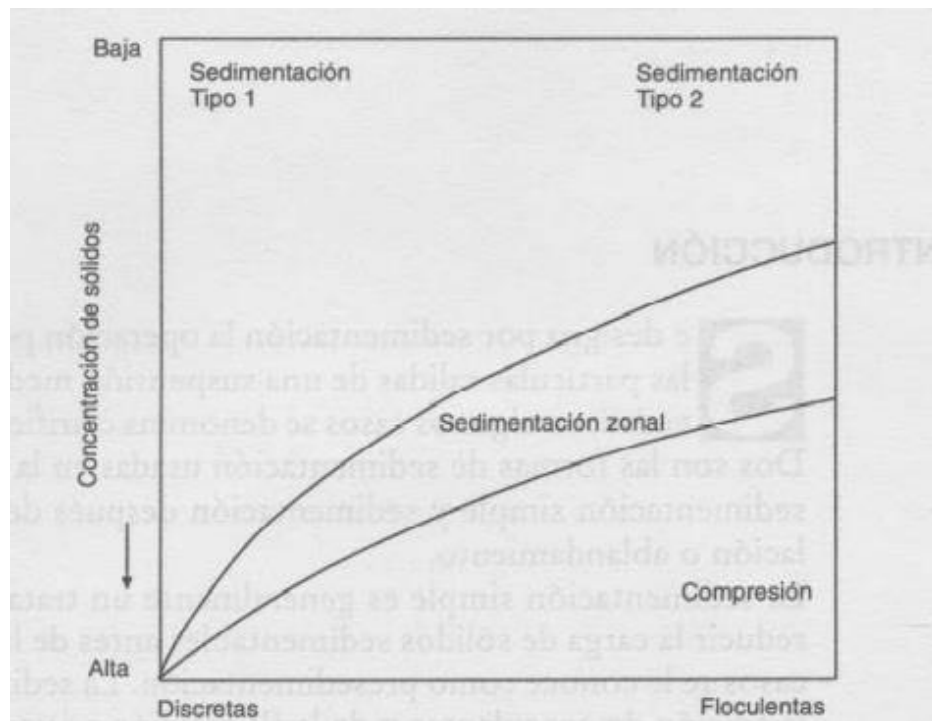
#### **1.5.2.3.2 Clasificación de unidades**

Estos procesos se realizan mediante sedimentadores o decantadores en dependencia de tipo de partícula que se desea remover, la más recomendable es:

- Sedimentadores o decantadores estáticos: Este tipo se da en caída libre con un régimen laminar turbulento o de transición. En un sedimentador ideal de forma rectangular y con flujo horizontal, la resultante será una línea recta. Asimismo, otras partículas discretas se moverán en lugares geométricos paralelos. Estableciendo semejanzas entre los triángulos formados por las velocidades y las dimensiones del decantador, donde (L) es la longitud y (H) la altura. (Vargas, 2004, pág. 23).
  - Componentes: Zona de entrada y distribución de agua, zona de sedimentación propiamente dicha, zona de salida o recolección de agua y zona de depósito de lodos.



- Decantadores dinámicos: En este proceso el flóculo no conserva sus características, al ingresar arrastrado por el flujo esta choca con otras partículas e incrementan su tamaño.
  - Componentes: Sistema de entrada de agua, zona de formación del manto de lodos, zona de clarificación, sistema de recolección de agua clarificada y zona de concentración de lodos.
  
- Decantadores laminares: Según se observó anteriormente, la eficiencia de los decantadores clásicos de flujo horizontal depende, principalmente, del área. De este modo, si se introduce un piso intermedio a una altura (h) a partir de la superficie, las partículas con una velocidad de sedimentación  $V_{Sb} < V_{SC}$  serían removidas. (Vargas, 2004, pág. 38).



*Ilustración 6 Diagrama Paragenético*

Fuente: Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Mexico: ALFAOMEGA .

### **1.5.2.4 Filtración**

La filtración es un proceso en el cual se eliminan las partículas suspendidas y coloides presentes en el agua a través de un medio poroso, esta es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento, por lo que la responsabilidad de la calidad del agua sería de este proceso.

#### **1.5.2.4.1 Mecanismos de filtración**

En la filtración se debe de tomar en cuenta dos mecanismos distintos pero que se complementan: el transporte y adherencia. Donde inicialmente las partículas que se remueven son transportadas a la superficie de granos del medio filtrante; ellas se adhieren a estos granos (siempre y cuando resistan las fuerzas de cizallamiento).

Entonces en el transporte las partículas se afectan por los parámetros de la transferencia de masa y la adherencia entre partículas y granos es un fenómeno superficial (influenciado por los parámetros físicos y químicos que las componen).

Los mecanismos de transporte son:

- Cernido: Este solo actúa en las capas superficiales del lecho y con partículas fuertes.
- Sedimentación: Este se produce con material suspendido grande y denso, con velocidad alta de asentamiento y con carga hidráulica baja.
- Intercepción: Debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas. (Vargas, 2004, pág. 86).
- Difusión: La eficiencia va en dependencia de la temperatura y es proporcional al diámetro de la partícula.
- Impacto inercial: “Durante el escurrimiento, las líneas de corriente divergen al estar cerca de los granos del medio filtrante, de modo que las partículas

suspendidas, con cantidad de movimiento suficiente para mantener su trayectoria, colisionan con los granos.” (Vargas, 2004, pág. 86)

- Acción hidrodinámica: la diferencia de velocidades hace que la partícula gire y se dé una diferencia de presiones, lo que hace que la partícula se conduzca a un espacio de velocidad baja.
- Mecanismos de transporte combinados: la eficiencia de la recolección de las partículas suspendidas está en función a la velocidad, al diámetro de la partícula, a la viscosidad y a las características de suspensión.

Los mecanismos de adherencia son:

- Fuerzas de Van der Waals: Esta interacción se da por diferentes razones:
  - “Disociación de iones en la superficie de las partículas.
  - Cargas no balanceadas debido a las imperfecciones de la estructura del cristal.
  - Reacciones químicas con iones específicos de la suspensión, con formación de enlaces químicos.
  - Sustitución isomórfica en la estructura del cristal.” (Vargas, 2004, pág. 89).
- Enlace químico entre las partículas y la superficie de los granos: Cuando las partículas son absorbidas por partículas en los granos de los filtros están cumpliendo con el principio de la filtración, el uso de ayudantes en los filtros es de gran utilidad porque aumenta la adherencia de las partículas en el agua.

#### **1.5.2.4.2 Medios filtrantes**

##### 1.5.2.4.2.1 Filtros de lecho simple

Debido a como este se encuentra construido, los granos más grandes se encuentran abajo y los más pequeños arriba, haciendo que a medida que el flóculo ingresa puede pasar fácilmente

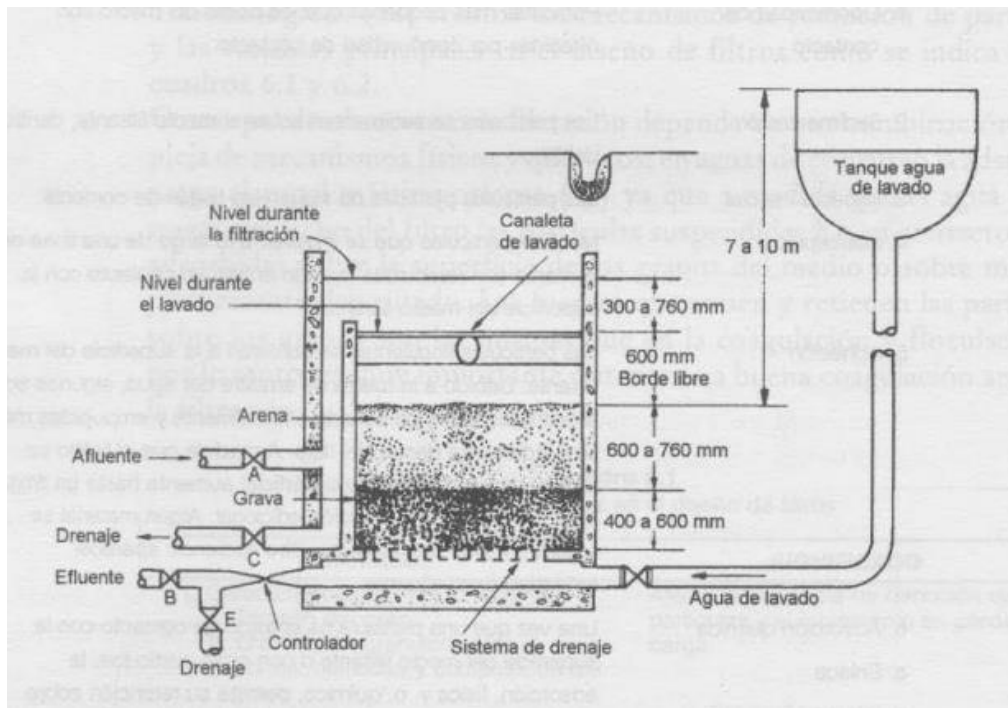
debido a que los poros son más grandes y se pasa con facilidad, por esta razón en la superficie queda la mayor cantidad de partículas retenida y por eso la capacidad de almacenamiento de flóculos es limitada.

#### 1.5.2.4.2.2 Filtros de lecho múltiple

La idea consiste en poder hacer que el lecho disminuya su permeabilidad con la profundidad, de manera que los flóculos ingresen y encuentren la capa más fina en la parte inferior y la capa más gruesa en la capa superior, un ejemplo sería el de arena y antracita donde se consigue un material más grueso en la superior y más fino en la capa inferior.

#### 1.5.2.4.2.3 Filtración a presión

Este tipo de filtración se realiza en tanque que poseen lámina de acero y un flujo ascendente o descendente con medios filtrantes construidos con una o más capas.



*Ilustración 7 Esquema de filtración*

Fuente: Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Mexico: ALFAOMEGA .

### **1.5.2.5 Desinfección**

El objetivo del proceso de desinfección es eliminar los microorganismos que existen, aquellos que son capaces de producir enfermedades en la salud pública; este es el último proceso del tratamiento del agua y el objetivo principal es garantizar la calidad del agua desde un punto de vista microbiológico para que sea adecuado para la salud de todos los consumidores.

En este proceso se usan agentes físicos o químicos para la destrucción de los patógenos presentes en el agua y evitar la transmisión de enfermedades debido a este recurso; además es un proceso selectivo porque no todos los organismos se encuentran en el agua a tratar y no siempre se eliminan del todo, es por esto que en las plantas potabilizadoras se colocan procesos como la coagulación, sedimentación y la filtración para que cuando llegue a este último proceso sean partículas de fácil remoción.

#### **1.5.2.5.1 Utilidad de la desinfección**

En las plantas potabilizadoras la desinfección es parte de su proceso, que debe de cumplir con los siguientes objetivos:

- Reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda (predesinfección). Este proceso se utiliza solo en casos especiales.
- Desinfectar el agua luego de la filtración. Constituye el uso más importante.
- Desinfección simple de un agua libre de contaminantes fisicoquímicos que no requiere otro tratamiento. (Vargas, 2004, pág. 156).

#### **1.5.2.5.2 Teoría de la desinfección**

La desinfección por parte de los agentes químicos estos poseen dos etapas en su proceso:

- Ingreso a la pared celular.
- Reacción con las enzimas, exhibiendo la glucosa y provocando la muerte de los organismos.

#### **1.5.2.5.3 Variables controlables en la desinfección**

En este proceso existen variables que son controlables, que serían:

- Naturaleza y concentración del desinfectante.
- Grado de agitación en la que se le realiza al agua.
- Tiempo de contacto entre las partículas contaminantes y el desinfectante.

#### **1.5.2.5.4 Acción de los desinfectantes**

Algunas características importantes serían:

- La capacidad de penetración del desinfectante a través de las membranas celulares.
- La producción de reacciones con las enzimas de la célula de manera de producir un daño irreversible en su sistema enzimático. (Vargas, 2004, pág. 160).

#### **1.5.2.5.5 Formas de desinfección**

La desinfección se puede dar mediante dos tipos de agentes:

##### **1. Agentes Físicos:**

1.1.Sedimentación natural: Es un proceso en la que se decantan las partículas en suspensión por medio de la gravedad. En este agente se recomienda tener las siguientes consideraciones:

- 1.1.1. Realizar un estudio en el sedimentador tanto en la época de verano como en el invierno para conocer la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua.
- 1.1.2. Realizar un mantenimiento periódico debido a que se generan lodos y estos se deben de retirar mecánicamente y ser tratados con cal por aparte para eliminar microorganismos existentes.
- 1.1.3. Realizar circulación vertical esto con el fin de tener una mayor profundidad y permita oxigenar el agua adecuadamente.

1.2.Coagulación-floculación-sedimentación: Estos procesos son los más eficientes en la eliminación de la gran mayoría de las bacterias, protozoarios, entre otros del agua.

1.3.Filtración: Este proceso es efectivo en contener microorganismos.

1.4.Calor: En altas temperaturas en efectiva la eliminación de los microorganismos.

1.5.Luz y rayos ultravioletas: Esta posee ventajas y desventajas en su uso:

1.5.1. Ventajas

- Elimina todo tipo de microorganismos presentes en el agua.
- No cambia las condiciones organolépticas del agua.
- Costo moderado.
- Proceso sencillo
- No se necesita de tanques de mezcla ni de contacto.

1.5.2. Desventajas

- Es limitado por el color y turbiedad presentes en el agua por lo que solo funciona en aguas claras.
- Mantenimiento preventivo en las lámparas para evitar la reducción de capacidad de los rayos.
- Vida útil del equipo es limitado.

2. Agentes químicos: Por lo general en este tipo de agentes se utiliza oxidantes fuertes para la eliminación total de las partículas contaminantes presentes en el agua, los más importantes son:

2.1 Los halógenos como el cloro, el bromo y el yodo. El efecto germicida y de penetración de estos aumenta con su peso atómico.

2.2 El ozono (O<sub>3</sub>).

2.3 El permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>).

2.4 El agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y los iones metálicos. (Vargas, 2004, pág. 167).

## **1.6 Desarenadores**

### **1.6.1 Consideraciones generales**

#### **1.6.1.1 Pretratamientos y acondicionamiento previo**

Los sistemas de pretratamiento o acondicionamiento previo son aquellas estructuras que son auxiliares al sistema de potabilización o a cualquier tipo de tratamiento, su principal objetivo es reducir la mayor cantidad de sólidos en suspensión que poseen diferentes tipos de tamaño que han sido arrastrados por el agua a tratar.

Las fuentes superficiales de agua poseen un alto contenido de materia en estado de suspensión que debe ser retirada previamente a su tratamiento, y es de suma importancia en épocas lluviosas ya que con estos tiempos las partículas suspendidas son mayores que en la época seca.

Dentro de los procedimientos que realiza un desarenador, el más importante es la separación del material grueso mediante rejillas (sean gruesas o finas). Los desarenadores o sedimentadores están relacionados directamente con procesos previos en el acondicionamiento de una planta de tratamiento.

La sedimentación es un proceso importante, ya que las partículas que están en el agua a tratar pueden ser perjudiciales para el resto del sistema o procesos posteriores al desarenador y esto permite que el resto de los procesos fluya sin ningún deterioro.

#### **1.6.1.2 Unidades de acondicionamiento previo**

##### **1.6.1.2.1 Sedimentador**

Este tipo de estructura realiza remociones de partículas inferiores al 0,2mm y superiores a los 0,05mm.

##### **1.6.1.2.2 Desarenador**

Este tipo de estructura separa del agua cruda la arena o partículas gruesas en suspensión, el fin es poder evitar depósitos en la tubería de conducción, protege las bombas (que se encuentran en algunas plantas de tratamiento) y evitar sobrecargas en procesos de tratamiento. Normalmente realiza una remoción de partículas superiores a los 0,2mm.



### **1.6.1.3 Variables que afectan la sedimentación**

#### **1.6.1.3.1 Corrientes de densidad**

Son las corrientes que se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (de concentración) (OPS, 2005 pág. 4).

#### **1.6.1.3.2 Corrientes debidas al viento**

El viento produce que las corrientes sean intensas e influye en la dirección de flujo del agua.

#### **1.6.1.3.3 Corrientes cinéticas**

Este tipo de corrientes es generado por el diseño inadecuado de la zona de entrada o salida con velocidades excesivas, zonas turbulentas o muertas o también se genera por las obstrucciones que se generan en la sedimentación.

### **1.6.1.4 Información básica para el diseño de un desarenador**

La información más importante que debemos de tener a mano antes de desarrollar o diseñar un desarenador es la siguiente:

#### **1.6.1.4.1 Caudal de diseño**

Las unidades de desarenadores que una planta de tratamiento necesitará, estas serán diseñadas para que puedan cumplir con un caudal máximo.

#### **1.6.1.4.2 Calidad fisicoquímica del agua**

En dependencia del agua cruda que se desea tratar así serán sus procesos de pretratamiento y acondicionamiento previo.

#### **1.6.1.4.3 Características del clima**

Va en dependencia de la temperatura (como esta varía) y en las lluvias que se presenten en el lugar.

### **1.6.1.5 Estudio de campo**

Para poder realizar un diseño de un sistema de pretratamiento se debe de realizar los siguientes estudios:

#### **1.6.1.5.1 Estudio de fuentes**

En este estudio se debe de incluir los aforos y regímenes de caudal de los últimos tres años.

#### **1.6.1.5.2 Zona de ubicación**

Realizar un levantamiento topográfico con detalle, análisis de riesgo ante desastres naturales.

#### **1.6.1.5.3 Análisis de suelos y geodinámica**

#### **1.6.1.5.4 Análisis de la calidad del agua**

### **1.6.1.6 Alternativas de pretratamiento**

Para seleccionar los procesos que debe de cumplir esto depende de la calidad del agua, riesgos involucrados en la zona y la capacidad con la que abaste a la comunidad. En algunos casos se utilizan sedimentadores laminares debido a que la zona lo permite y este lo requiera, estos son de mayor complejidad constructiva además de que su operación se debe manejar con precaución y el mantenimiento constante es recomendable para las zonas rurales.

Las láminas en sedimentadores ayudan a mejorar su eficiencia, convirtiéndolos en sedimentadores laminares y con la ventaja de tener mayor área de sedimentación.

#### **1.6.1.7 Análisis de la calidad de la fuente**

Los análisis para la selección del sistema se basan como mínimo en los siguientes parámetros de la calidad del agua:

- E. Coli o coliformes fecales.
- Turbiedad

Tomar en cuenta que en las fuentes que tengan sustancias nocivas para el ser humano deben ser consideradas.

### **1.6.1.8 Análisis de riesgo y vulnerabilidad de las instalaciones**

Las instalaciones de tratamiento deben ser diseñadas bajo análisis de riesgos antes desastres naturales o en sus condiciones en el entorno esto con el fin de poder proteger primeramente la infraestructura, sus operarios y el servicio de agua para la comunidad.

#### **1.6.1.8.1 Análisis de riesgo**

Los diseños deben contemplar los riesgos que conllevan las amenazas más frecuentes de fenómenos naturales y otros predominantes en la zona: lluvias, sequías, sismos, etc., principalmente en cuanto a su ubicación (OPS, 2005. Pág 7)

#### **1.6.1.8.2 Vulnerabilidad**

De las estructuras e instalaciones a:

- Crecidas e inundaciones.
- Períodos de sequía.
- Contaminación de la fuente.
- Intensidad y magnitud de sismos.
- Erosión. (OPS, 2005. Pág 7)

### **1.6.1.9 Diseño del desarenador**

El desarenador se divide en cuatro zonas:

#### **1.6.1.9.1 Zona de entrada**

En esta zona se distribuye uniformemente las líneas de flujo dentro del desarenador.

#### **1.6.1.9.2 Zona de desarenación**

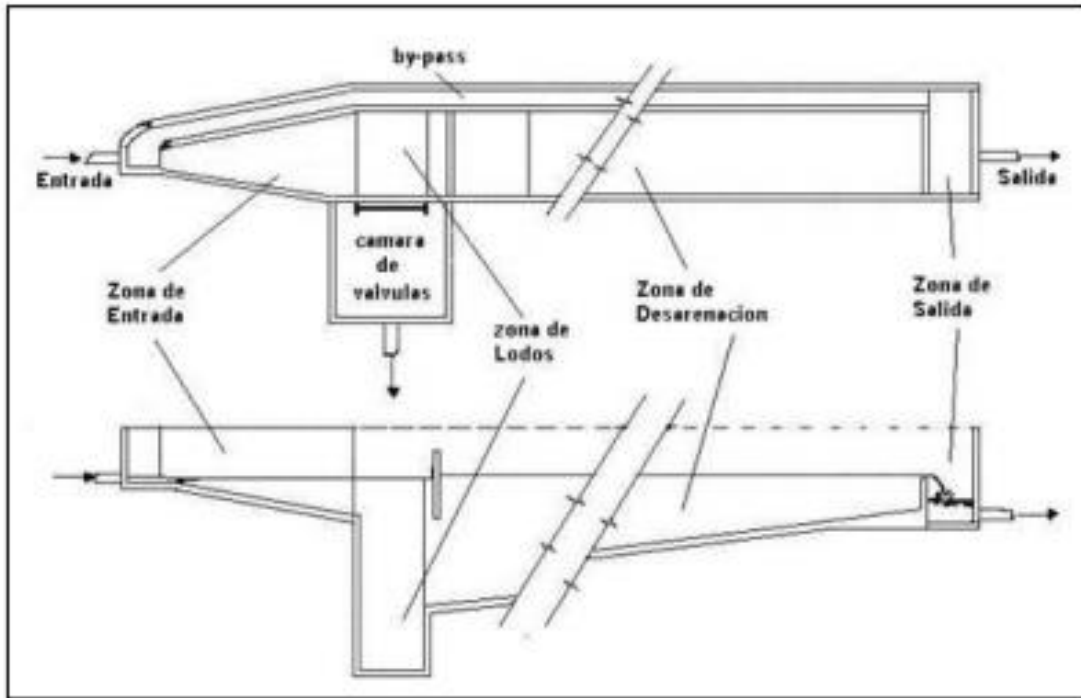
En esta zona es una parte de la estructura que realiza el depósito de las partículas por acción de gravedad.

#### **1.6.1.9.3 Zona de salida**

En la zona de la salida posee un vertedero diseñado para mantener una velocidad constante y no altere el área sedimentada.

#### 1.6.1.9.4 Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada

Posee en su zona una tolva con una pendiente mínima del 10% que permite el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza.



*Ilustración 8. Desarenador (planta y corte longitudinal)*

#### 1.6.1.10 Criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es 2 para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.
- La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de  $12^{\circ} 30'$

- La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara.
- La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20.
- La sedimentación de arena fina ( $d < 0.01$  cm) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ( $Re < 1.0$ ).
- La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1 000.
- La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1 000. (OPS, 2005. Pág 10).

*Tabla 8. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación*

Material	Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1,0	>10.000	100	Turbulento	$V_s = 1,82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho a - \rho}{\rho} \right)}$
Arena Gruesa	0.100	1000	10.0	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho a - \rho}{\rho} g \right)^{\frac{2}{3}} * \left( \frac{d}{\left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)$
	0.080	600	8.3		
	0.050	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
	0.015	2	1.5		
Arena Fina	0.010	0.8	0.8	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho a - \rho}{\mu} \right) d^2$
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1.0	0.3		

0.004	1.0	0.2
0.003	1.0	0.13
0.002	1.0	0.06
0.001	1.0	0.015

## Capítulo 2: Marco Metodológico

### 2.1.Paradigma

El agua es un recurso para la supervivencia de todos los seres vivos del planeta, sin esto la biodiversidad y el ser humano no existiría. El planeta cuenta con más de 1386 millones de km<sup>3</sup> de agua donde el 97 % es de agua salada y solo el 2,5 % del agua es dulce. Debido a las actividades humanas que exigen gran cantidad de agua con el día a día, se ha producido escasez de agua en los últimos años y ha generado una mayor contaminación en todas las fuentes de este recurso.

La contaminación del agua debido a los malos usos que se le dan a este recurso ha hecho que posean contaminantes como virus, bacterias, parásitos, contaminantes químicos, entre muchos otros provocando una afectación directa a la salud pública y ha hecho que la población empiece a buscar soluciones para este mal.

En este punto entran a jugar las plantas potabilizadoras, lo que hace es que capta el agua de las aguas superficiales pasándola por varios procesos que básicamente remueven los contaminantes y hacen que el agua sea potable y consumible; es por eso que las plantas entran en un papel protagónico porque utilizan tecnologías distintas en sus etapas para generar agua de alta calidad, rica en oxígeno y libre de impurezas.

Es por esto que las evaluaciones que se le realizan a las plantas son importantes porque permite detectar que proceso está dando una afectación por medio de los ensayos que se le realiza a cada uno y qué se debe de cambiar para poder seguir dando la calidad de agua esperada para la población a la que se está viendo afectada.

## 2.2.Enfoque metodológico

El siguiente proyecto se enfoca en una investigación cuantitativa, esto se debe a que para poder realizar todos los procesos se necesitará de una medición numérica que permite analizar y evaluar los efectos en cada uno de ellos de los que se pretende manejar, además es importante tomar en cuenta que las investigaciones cuantitativas recolectan datos para probar una hipótesis y establecer patrones de comportamiento y poder probar las teorías en los procesos que conforman la planta potabilizadora.

## 2.3.Métodos de investigación

En el proyecto se realizará una investigación cuantitativa experimental en este caso se tomará en cuenta la cuasiexperimentos, esto debido a que en el desarrollo de la investigación se realizarán pruebas de laboratorio como la prueba de trazadores, la evaluación de cada uno de los procesos requiere de sus debidas pruebas para medir los diferentes componentes que la forman, pero antes de realizar estos ensayos se realiza un muestreo de cómo se encuentra en la actualidad y lo que se pretende mejorar gracias a los datos que se van a obtener.

## 2.4.Categoría de análisis de la investigación

En la siguiente investigación se definen las variables que se presentan a la hora de realizar el proceso de evaluación para cada uno de los procesos que lo conforman, las cuales serían las siguientes:

Objetivo	Valor Dependiente	Valor Independiente	Muestra
Analizar el funcionamiento de los procesos de potabilización (como lo son mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección), mediante ensayos e inspecciones en el sitio	Ensayos de laboratorio como la prueba de trazadores, tiempo de retención, caudal de operación, condiciones hidráulicas.	Características físicas, químicas y biológicas que componen el agua.	Ensayos de laboratorio y muestra en los procesos
Evaluar los registros disponibles para determinar la calidad del agua que está	Características físicas, químicas y biológicas	Decreto del Reglamento para la Calidad del Agua	Registros obtenidos por el AyA

llegando a la población y así poder conocer la eficiencia sanitaria de la planta potabilizadora.	que componen el agua.	Potable, Manuales CEPIS y manual de operación de la planta.	
Aplicar un análisis de la situación actual de las fuentes de abastecimiento, la tecnología de la potabilización y focos de contaminación presentes en la zona.	Datos obtenidos de cada evaluación para conocer la situación de la planta.	Prueba de trazadores e inspección inicial de la planta.	Ensayos de laboratorio y muestras
Verificar el cumplimiento con los parámetros sanitarios establecidos según las normas técnicas y leyes del país.	Datos obtenidos en sitio, por medio de los ensayos.	Decreto del Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Manuales CEPIS y manual de operación de la planta.	Registros obtenidos por el AyA
Proponer un presupuesto acerca de las mejoras a realizar (si se requiere).	Costo de recursos humanos y materiales.	Evaluación de la zona.	Registro obtenido por el AyA
Pre-diseñar hidráulica y sanitariamente el desarenador requerido para el pretratamiento del agua cruda (no incluye presupuesto ni diseño estructural).	Datos obtenidos en sitio.	Manual de CEPIS.	Registros obtenidos por el AyA



## **2.5.Población y muestra**

La población de la que se verá beneficiaria de este proyecto será en la zona de Jacó y el AyA y en las muestras se realizarán diferentes muestras para los diferentes procesos que conforman la planta potabilizadora.

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

### ***2.6.1. Inspección inicial***

En la inspección inicial a la hora de realizar una evaluación de una planta se debe de tener presente los siguientes objetivos:

- Identificar los problemas más visibles.
- Establecer la capacidad y sus limitaciones en cuanto a la potencia.
- Diagnosticar los recursos necesarios para la evaluación de los procesos más complicados.
- Determinar recursos a cada proceso.

#### **2.6.1.1.Procedimiento para una inspección inicial**

En este se comprende los siguientes pasos:

- Compilar información de la planta.
- Inspección a toda la planta.
- Copilar y procesar datos de los procesos.
- Especificar la capacidad potencial de la planta.
- Realizar un diagnóstico.
- Rellenar las fichas técnicas del sitio.

### ***2.6.2. Ensayo con trazadores***

Esta prueba de trazadores consiste en agregar una sustancia (trazador= agua con sal) en el tanque o reactor que se desea analizar, esta se distribuye y se ve la salida conforme la concentración del trazador lo distribuye en un tiempo determinado. Esto es muy útil para determinar cómo se encuentra distribuido el flujo y poder evaluar las condiciones hidráulicas.

En la actualidad este ensayo muestra los tiempos reales de retención y sus principales características como los tipos de flujo, espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos en los tratamientos como mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores.

#### **2.6.2.1.Sustancias trazadoras**

Algunas sustancias que se utilizan son:

- Colorantes
- Cloruros, sodio, potasio, fluoruros o nitratos.
- Elementos radioactivos.
- Ácido Clorhídrico y benzoico.
- Otros: Alizarim, Sapirol, Naptol.

#### **2.6.3. Evaluación del proceso de coagulación**

Los principales componentes que influyen en este proceso son:

- Características de las aguas: pH, temperatura, alcalinidad, turbiedad y color,
- Características químicas: tipo, dosis, concentración de la solución.
- Características de dosificación: Tipo, exactitud, entre otros.
- Características de mezcla rápida: intensidad de la mezcla, tiempo de retención, forma de aplicación del coagulante.

#### **2.6.3.1.Manejo y almacenamiento de sustancia químicas**

En las plantas potabilizadoras se debe de identificar varios factores importantes en el manejo de las sustancias químicas, lo primero que se tiene que tomar en cuenta en el almacén, cómo este está diseñado en cuanto a diseño arquitectónico y de materiales, ver que sean los adecuados para este material, luego se debe de conocer las sustancias que se utilizan en la planta y comprobar que las que se están utilizando sean las correctas, se debe de rotular todo lo que se encuentre en el almacén, desde los envases hasta el equipo a usar y por último se debe de conocer las características del almacenamiento para poder determinar la capacidad máxima que se puede manejar en bodega y así tener un registro de lo que se tiene.

### **2.6.3.2. Dosificación de sustancias químicas**

Parámetro importante en el proceso de coagulación, ya que gracias a esto se determina el grado de dosificación que necesita este proceso. Para este proceso se debe de seguir unos procedimientos especiales para poder realizar la evaluación, primeramente, se debe tener el equipo necesario para realizar el ensayo, luego se llena a  $\frac{3}{4}$  de altura un depósito, posteriormente se evalúa la dosificación en el punto actual y luego con varias velocidades (lo recomendable es hacer tres muestras y determinar un valor medio), luego de tener los datos se grafican para compararlos.

### **2.6.4. Evaluación del proceso de mezcladores**

Para la evaluación de los mezcladores antes de iniciar con el proceso, lo que se recomienda es lo siguiente:

- Tener claras las variables químicas relacionadas con la dosis y tipo de coagulante.
- Tener presente que las variables físicas son el tiempo y la intensidad de la mezcla provocada por la energía dada.

Para conocer el comportamiento de la mezcla rápida antes se debe conocer los siguientes ensayos:

- “Geometría de la unidad, punto de aplicación de las sustancias químicas; determinación del tiempo de mezcla; determinación de la intensidad de la mezcla; • condiciones hidráulicas de las obras de interconexión.” (N/A, Evaluacion de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 106).

#### **2.6.4.1. Geometría de la unidad**

Se debe de comprobar si la geometría del lugar es la adecuada para su funcionamiento, se debe de comprobar que sea tipo una rampa para que el coagulante se distribuya uniformemente en todo este espacio.

#### **2.6.4.2. Tiempo real de retención**

Para poder determinar el tiempo de retención se debe de cumplir con lo siguiente, primeramente, este proceso se puede realizar con una prueba de trazadores, donde dará el tiempo máximo de concentración del trazador o también se puede realizar teniendo el volumen de resalto y caudal real justo en el momento de ingreso a la planta.

### **2.6.4.3. Intensidad de la mezcla**

Acá se determina la velocidad de la mezcla rápida, al tener un tipo hidráulico para su procedimiento serían los siguientes pasos:

- Determinar la pérdida de carga.
- Tener los tiempos de retención (dados por la prueba de trazadores o calculados con el volumen del resalto).
- Calcular la temperatura del agua.

### **2.6.5. Evaluación de floculadores**

Es esta evaluación lo que se realiza en formar un flóculo con sus características determinadas para trabajar en función de la calidad del agua, antes de realizar este ensayo se debe de tomar en consideración lo siguiente:

- Geometría de la unidad; caudal de operación; parámetros óptimos de floculación: gradientes de velocidad y tiempos de retención; tiempo de retención de la unidad de floculación; intensidad de floculación o gradientes de velocidad en la unidad; características hidráulicas de la unidad: tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos; tiempo de formación del flóculo y tamaño del flóculo producido. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 115).

#### **2.6.5.1. Unidades hidráulicas**

Se debe determinar:

- Si las pantallas todas se cruzan.
- Espacios entre pantallas (que sea uniforme).
- Ancho de las vueltas (uniforme o igual a 1,5 del espaciamiento de las pantallas).
- Profundidad inicial y final deben ser iguales.

#### **2.6.5.2. Caudal de operación**

Este caudal debe ser igual al caudal total de toda la planta, pero con otras unidades, acá se utiliza la prueba de distribución de caudales aplicando trazadores.

### **2.6.5.3. Parámetros óptimos del proceso**

Para este proceso los parámetros óptimos son: velocidad y tiempo de retención (ambos determinados en laboratorio).

### **2.6.5.4. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad**

Estas se determinan mediante la aplicación de la prueba de trazadores.

### **2.6.5.5. Unidad de floculación hidráulica**

En esta prueba se determina la velocidad con la que trabaja cada tramo en el floculador, acá se debe de determinar la cantidad de pérdida de carga en cada tramo, la temperatura del agua calcularla, aplicar los trazadores y medir el tiempo de retención real de cada unidad.

### **2.6.5.6. Tiempo de formación inicial del flóculo**

En este ensayo se pretende determinar el tiempo en el que demora un flóculo en formarse. El procedimiento es: Se toman muestras iniciales de un tramo a una profundidad de 50 cm, cada muestra que se extrae se observa en contraluz para ver si se está formando o no el flóculo y luego se calcula el volumen comprendido entre el inicio y el punto en el que se detectó el flóculo.

### **2.6.5.7. Tamaño del flóculo producido**

En este se desea calcular el tamaño del flóculo formado en la floculación. Para poder realizar esto, se debe de seguir una serie de pasos: primero se toma un vaso de vidrio con dos muestras de la unidad, luego se calcula el tamaño del flóculo producido y se compara con datos anteriores para conocer su cambio en el tiempo.

## ***2.6.6. Evaluación de decantadores***

En este proceso lo que se hace es remover y darle eficiencia a la planta de filtración rápida. Algunos factores importantes son: características del proceso y condiciones del flujo hidráulico.

Este comprende de: “eficiencia; geometría de la unidad; comportamiento del canal de distribución, tiempo de retención, características hidráulicas, velocidad óptima de sedimentación, carga superficial real, características de las zonas de entrada y salida.” (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 133).

### **2.6.6.1.Eficiencia en función de la calidad del agua sedimentada**

En los filtros rápidos es mejor la eficacia en aguas sedimentadas, pero con bajas turbiedades, estos filtros según los parámetros de la EPA deben producir agua con menos de 0,1 UNT; dentro del proceso que se realiza es que se agrupan los datos de turbiedad en rangos predeterminados y se calcula la frecuencia de presentación anual.

### **2.6.6.2.Eficiencia en función de la calidad del agua cruda**

Este proceso depende de las características físicas como las químicas que posee el agua, la eficiencia del mismo va en función al contenido de partículas suspendidas que presenta; lo primero que tenemos que hacer es agrupar los datos de la calidad del agua cruda, determinar rangos y luego calcular las constantes en función de la turbiedad.

### **2.6.6.3.Determinación de condiciones hidráulicas**

En la zona de decantación se debe de presentar tres principios básicos, que serían: que la dirección de flujo sea horizontal y la velocidad sea la misma en todos los puntos de una sección vertical y que la concentración de partículas de cada tamaño sea la misma en todos los puntos de una sección vertical al comienzo de la zona de sedimentación; estos conceptos conducen a la necesidad de obtener un flujo de pistón puro en las unidades de sedimentación y/o decantación. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 142).

Para poder tomar en cuenta este ensayo se debe de determinar condiciones hidráulicas de ensayos que caracterizan el flujo:

- Porcentaje de flujos de pistón y mezclado
- Conocer espacios muertos y cortocircuitos.
- Tiempo real de retención.
- Calcular las líneas de flujo.
- Carga superficial real.

#### **2.6.6.4. Determinación de carga superficial real**

En este ensayo se utiliza los trazadores para determinar el tiempo real de retención de la unidad, esto se divide por la profundidad del decantador y por el tiempo, esto para obtener la carga real superficial.

#### **2.6.7. Evaluación de los filtros**

Este proceso es muy complejo y posee una cantidad de mecanismos para sus procesos, los filtros determinan la calidad del efluente, como la concentración, tamaño, naturaleza y propiedades de las partículas. Se debe tener procesos que influyen en la filtración rápida, que son: características de la unidad, eficiencia del proceso; Batería de filtros evaluación de plantas convencionales y de tecnología apropiada, características del proceso de filtración; características del medio filtrante, características del proceso de lavado.

##### **2.6.7.1. Velocidad y caudal de filtración**

La velocidad y el caudal son diferentes en cada unidad de filtrado, para comenzar se debe revisar los datos de operación de los filtros y luego comenzar con la prueba de lavado del filtro, estos dos simples pasos nos ayudaran a conocer más acerca del proceso en la planta y cómo se puede mejorar.

##### **2.6.7.2. Calidad del filtrado inicial**

En este paso se detecta el comportamiento inicial del filtro y el tiempo de demora para alcanzar la turbiedad normal, mediante ensayos de comportamiento del medio filtrante; en este se abre el acceso al filtro, se realiza una muestra a cierta profundidad y se reinicia la operación y posterior se grafica la turbiedad vrs tiempo.

##### **2.6.7.3. Duración de las carreras de filtración**

Los filtros poseen una duración entre las 30 y 50 horas, en dependencia de la calidad de agua coagulada o decantada.

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

Las características van en dependencia de la conservación que se le quiera dar al lecho filtrante por lo que las pruebas indicarían cómo se debe de actuar para que se conserven en buen estado.

### **2.6.7.5. Expansión de medio filtrante**

Esta expansión va en dependencia del caudal de lavado y el peso de la arena. En filtros de diseño americano, con arena fina de 0,45 a 0,55 milímetros de diámetro efectivo, el rango de expansión ideal es de 25 % a 30 %. Con porcentajes de expansión mayores, en lugar de mejorar, la limpieza de la arena desmejora, porque al distanciarse más los granos de arena, ya no se friccionan entre sí. En los filtros de diseño europeo, con arena gruesa de 0,80 a 1,0 milímetros de diámetro de tamaño efectivo y lavado con aire y agua, el porcentaje de expansión óptima es de 10 %. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 178).

El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca una varilla en un extremo del lecho filtrante.
- Se hace el lavado.
- Después de 3 minutos se retira la varilla para verificar cuántas cajas están llenas del material y mide la distancia entre la caja y la arena.
- Se determina la altura del lecho filtrante
- Se calcula el porcentaje de expansión.
- Se efectúa la medición en varios puntos.

### **2.6.7.6. Duración del proceso de lavado**

Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio y puede llegar a valores superiores a 1.000 UNT y luego, a medida que la arena se va limpiando, la turbiedad va disminuyendo. Analizando esta curva, se puede determinar el tiempo de lavado más conveniente. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 179).

El tiempo de lavado varía conforme a la caldía de agua presente. En su proceso lo primero es enumerar los frascos en dependencia de la época del año, iniciar con un lavado normal y luego un lavado de canaleta después de tener la primera gota (se llenan los frascos que serían 15), se determina la cantidad de turbiedad en las muestras y se grafica y por último se determina un punto de inflexión donde en un lugar estará el tiempo de lavado y en el otro las muestras.



#### **2.6.7.7. Características del medio filtrante**

Lo más importante sería la eficiencia del filtro en cuanto a su tamaño y forma de los granos, el medio filtrante y su altura.

#### **2.6.7.8. Granulometría del medio filtrante**

El procedimiento para este ensayo es:

- Se lava el filtro.
- Obtener una muestra.
- Secar y pesar la muestra.
- Pasar esa muestra en el juego de mallas para conocer su granulometría.
- Pesar las muestras retenidas en cada tamiz y calcular el porcentaje de esta.
- Graficar los datos obtenidos.

#### **2.6.7.9. Estado del medio filtrante**

El objetivo es determinar la cantidad de bolas en el lecho filtrante, para esto se necesita lo siguiente:

- Lavar el filtro y drenar el agua por debajo de los 20 cm de la superficie de la arena.
- Se determina el volumen que se desea muestrear y recoger cuatro muestras.
- Colocar la arena en el plástico para separar con cuidado las bolas de lodo.
- Colocar las bolas de lodo seca en una probeta con agua determinada, es acá donde determinamos el volumen de una bola.

#### **2.6.7.10. Espesor del medio filtrante**

Cuando el lecho filtrante se expande demasiado, la arena o antracita se pierde en cada retrolavado y se puede ver en las canaletas de recolección de agua de lavado, o se puede encontrar en el falso fondo del filtro o en el tanque de aguas claras cuando el drenaje se encuentra en mal estado y la arena se pierde a través de este. Se puede evitar la pérdida del lecho si se controla cada seis meses su profundidad y se aplican medidas correctivas. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 187).

Procedimiento:

- Lavar el filtro, secarlo e ingresarle una varilla metálica hasta la grava.
- Determinar longitud de la varilla.
- Repetir la operación #1 en varios puntos.
- Comparar alturas de acuerdo con la granulometría.

### **2.6.8. Evaluación de las instalaciones de cloración**

Esta evaluación es un proceso que se realiza al final del tratamiento, donde se asegura las metas con respecto a la calidad microbiológica que debe de tener el agua al ser consumida.

Algunas características que influyen en la eficiencia son: temperatura y el pH. La concentración de la turbiedad, el color, la materia orgánica, el nitrógeno amoniacal, Fe, Mn, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, entre otros, y concentración de microorganismos.

#### **2.6.8.1. Tiempo real de contacto**

Procedimiento:

- Se definen las estructuras del agua clorada.
- Se calcula los tiempos teóricos de retención y tiempo real (por medio de fórmulas).

#### **2.6.8.2. Dosis óptima de cloro**

Acá se determina cual es la dosis adecuada para el sistema, dentro de sus procesos son:

- Se obtiene el tiempo de retención en el punto más cercano y el más alejado.
- Se calcula los datos obtenidos en referencia a las dosis calculadas.
- Se toman tres muestras en el punto de aplicación y el más alejado.

#### **2.6.8.3. Características del sistema de aplicación**

- Se aplica de forma sumergida.
- Se distribuye uniformemente.
- El difusor se debe de colocar en el punto de mayor turbulencia.

#### **2.6.8.4. Características de las instalaciones de cloración**

- Instalaciones en las que el consumo de cloro es mayor de 50 kg/d debieran emplear cilindros de cloro de una tonelada.

- 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. (N/A, Evaluación de plantas de tecnología apropiada, 2005, pág. 201).

#### **2.6.8.5. Criterios para evaluar la sala de cloración y almacén de cilindros de cloro**

- Debe de tener una buena altura para la ventilación.
- El almacén debe ser exclusivo solo para ese fin.
- Contar con equipo de cloración y bomba de agua alterna.
- Bombas deben de estar en lugares seguros para evitar su deterioro.
- Revisar la existencia de alarmas para conocer si se encuentran fugas en el lugar.

#### **2.7. Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos**

Luego de haber hecho cada uno de los ensayos se procede a una revisión, análisis y digitalización de todos los datos recopilados, esto se tabulan en gráficas de programa de Microsoft Office Excel, donde permite un mejor manejo de todos los datos, elaboración de los diagramas, tablas, aplicación de todas las fórmulas de los ensayos. No se descarta el uso de otro software de ser necesario.

Para este aspecto se tomará en cuenta la normativa del Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Manual para la evaluación de la planta de tecnología apropiada (CEPIS), Manual de planta de tratamiento de agua de Jacó (brindado por Yamit ELI Filtración), Reglamento de Prestación de Servicios del AyA y la Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial.

Para evaluar las condiciones hidráulicas en los floculadores y sedimentadores se hace el uso de la curva de tendencia para poder visualizar mejor los datos obtenidos. Estos análisis se toman de las muestras de salidas para obtener los valores que aumentan hasta llegar al máximo y luego disminuye, generando una curva.

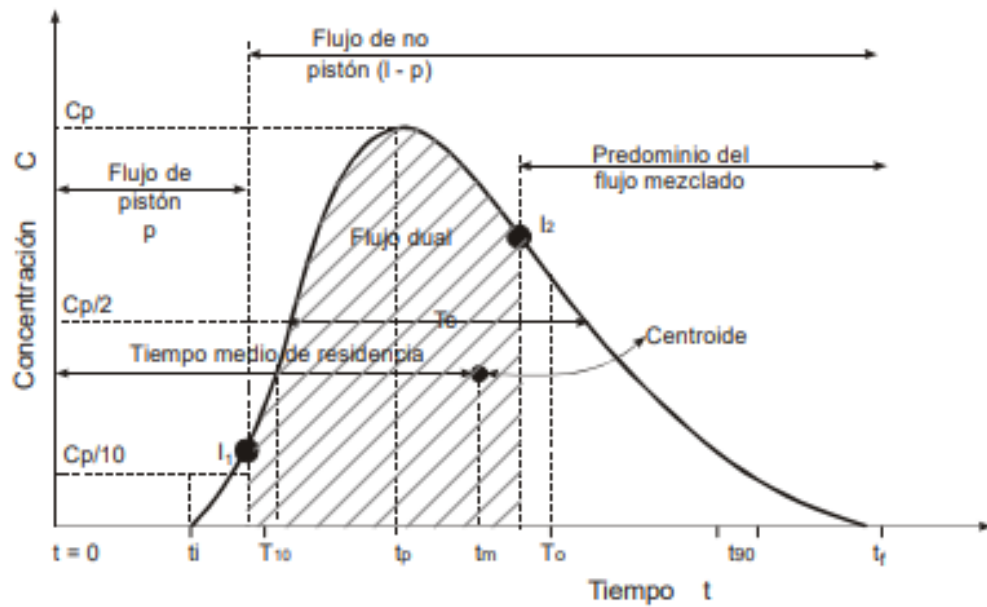


Ilustración 9 Concentración del trazador en el efluente de un reactor

Fuente: N/A. (2005). *Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Lima: OPS.

De igual modo se utilizará los parámetros puestos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable para ser considerados en las tomas que se harán en los ensayos:

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Máximo Admisible</b>
Coliforme fecal	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
<u>Escherichia coli<sup>a</sup></u>	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Color aparente	mg/L (U - Pt-Co)	5	15 <sup>2</sup>
Turbiedad	UNT	<1	5 <sup>2</sup>
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH <sup>e</sup>	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	μS/cm	400	
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	mg/L	1,0	1,8

- 
- a) El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la *Escherichia coli*
- b) VMA en no más del 10% de las muestras analizadas durante el año
- c) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos o en los utensilios domésticos, utilizados para calentar o hervir el agua

*Ilustración 10 Parámetros de calidad del agua*

Fuente: Reglamento de Calidad del agua potable.

## Capítulo 3: Análisis de los resultados

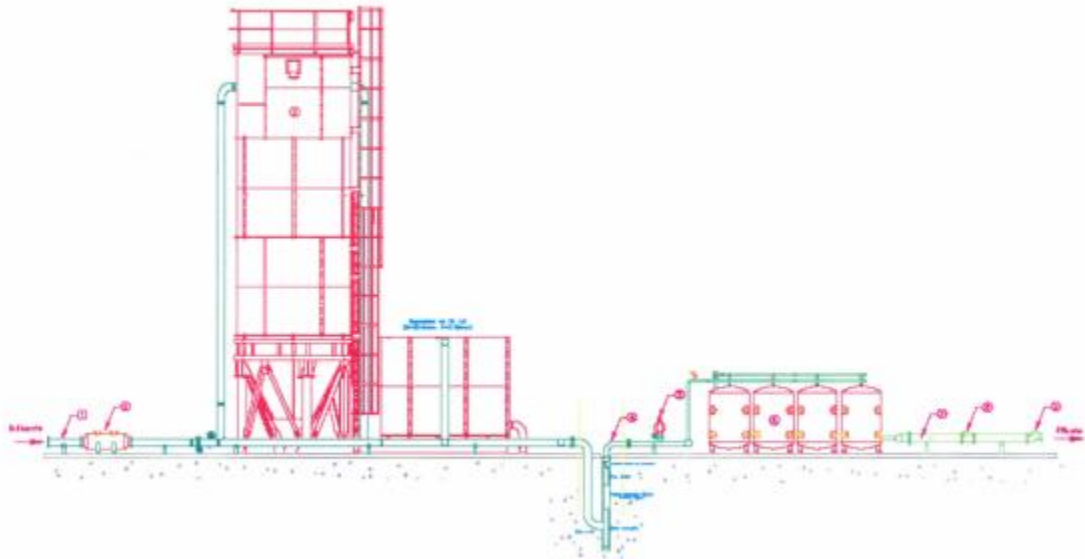
### 3.1 Inspección Inicial

#### 3.1.1 *Características de la planta*

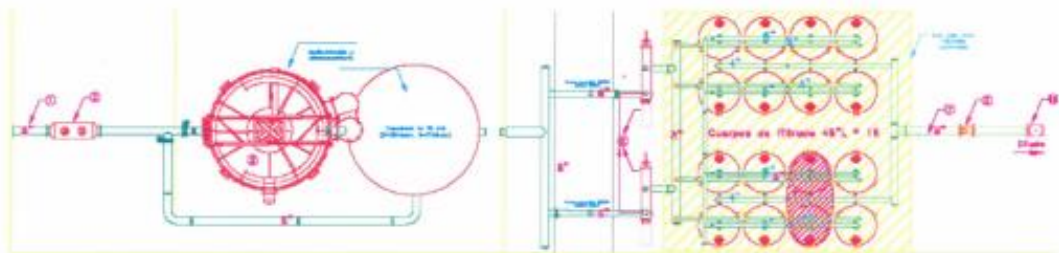
La planta ubicada en la quebrada Piedra Bruja es una planta de tratamiento conocida como paquete, dicha fue diseñada por la empresa Yamit ELI Filtración empresa de Israel que realizó la cotización y se encontró como la más ideal para la zona. Se consideró esta planta debido al poco espacio con el que se contaba para poder seguir con este tratamiento.

Dentro de la descripción que realizan en el manual de la planta, se menciona el funcionamiento en general, al agua proveniente del río se le inyectará un material floculante, a los efectos de mejorar la sedimentación en el Sedimentador centrífugo. Antes de llegar al Sedimentador, el agua atraviesa un Mezclador Estático, el cual mejora la mezcla entre el agua y el producto químico agregado. El agua se sedimenta en el Sedimentador y los Iodos se depositan en la zona cónica del mismo. Estos Iodos deben ser evacuados, en forma manual, abriendo la válvula mariposa situada en la parte inferior del Sedimentador. Una vez finalizada la sedimentación, el agua fluye hacia el tanque de balanceo, el cual tiene como único objetivo, asegurar el flujo constante desde las bornas booster hacia el sistema. De la bomba el agua pasa al Caudalímetro el cual permite verificar el volumen de agua tratado como así también el caudal momentáneo de trabajo. El agua continúa su curso hacia el sistema de prefiltrado de mallas, con un grado de filtración de 100 micrones, el cual está equipado con un sistema de auto limpieza automático. Este filtro posee en su entrada y salida dos válvulas mariposa las cuales permiten cerrar el paso a través del filtro para su mantenimiento. Una vez prefiltrada el agua se inyecta al sistema de filtración profunda, el cual está constituido por 16 filtros de 48" cada uno. El retrolavado de estos filtros se realiza en forma serniautornárica. En el momento en que es necesaria realizaría, esto se puede producir por diferencia de presión entre la entrada y la salida de los filtros, indicada a través del medidor de diferencia de presión, o por tiempo (decisión del operador, es recomendable realizar un retrolavado cada 24 Hs.) El operario acudirá a la central de retrolavado, la cual está conectada a cada uno de los filtros, y dará comienzo al retrolavado de estos, uno por uno. Cambiando de posición la válvula de comando de tres vías, de cada uno de los filtros. En el momento en el que se inicia el retrolavado de estos filtros la válvula sostenedora que se encuentra a la salida del sistema reducirá el flujo de salida del sistema hacia los tanques para asegurar el caudal y la presión

de retrolavado. La operación de esta válvula es automática. El medidor de diferencia de presión se encuentra conectado a un tablero de alarma, el cual se acciona en el momento que es necesario realizar el retrolavado. (Yamit ELI, 2008. Pág 6).



*Ilustración 11. Elevación de la planta de Jacó*



*Ilustración 12. Planta de Jacó*

### ***3.1.2 Archivos de control de la planta***

La planta cuenta con archivos de control diario con el fin de poder llevar una verificación de los datos obtenidos y poder dar a conocer si el agua tratada está cumpliendo con el proceso de potabilización adecuadamente. Los datos recopilados durante el día son el Caudal con la que se ingresa a la planta, las unidades de turbiedad del agua cruda y agua tratada, además de contar con el control de cloración, pero es el mismo en toda la época en la que se realizó la evaluación.

Dichos datos nos muestran que en los días más secos el agua no cuenta con muchas unidades de turbiedad y su caudal es muy poco, pero en las épocas lluviosas es donde la planta debido a su límite en caudal y unidades de tratamiento se debe de detener su producción por que sobrepasa por los cuales fue diseñada la planta.

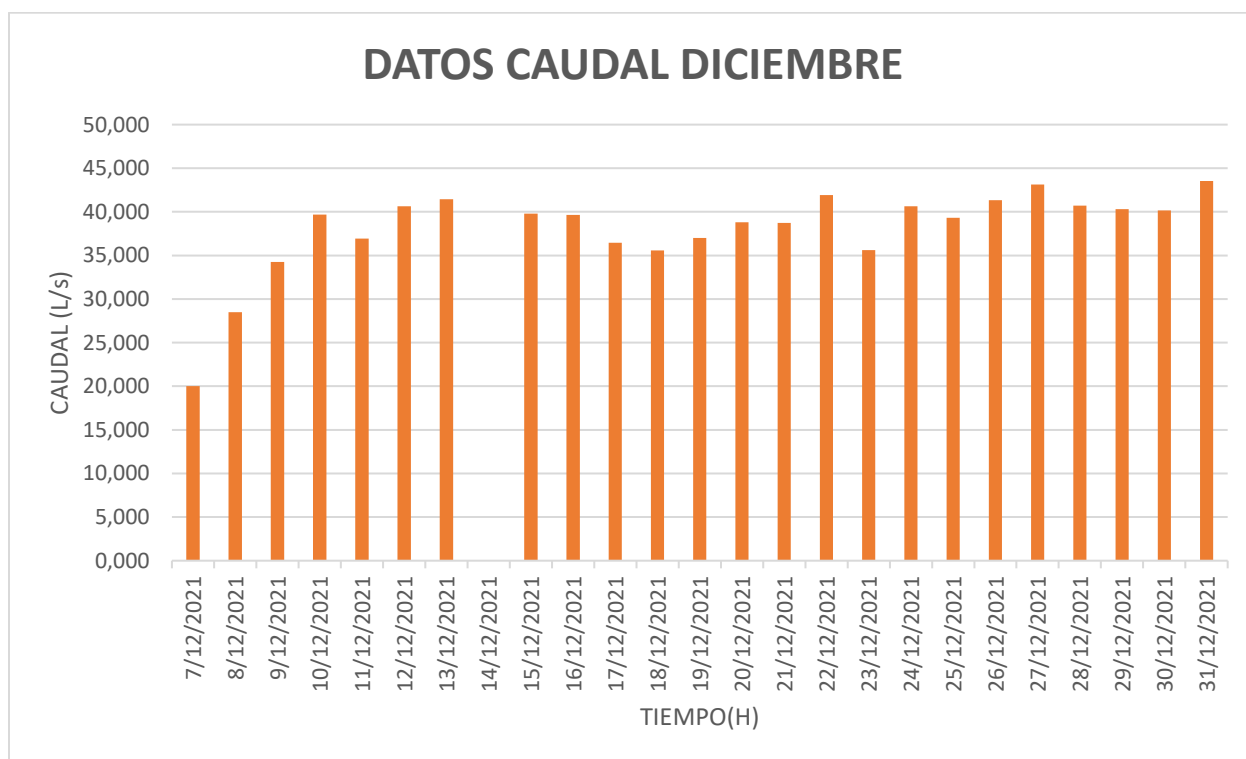
Dentro de los datos recaudados se realizó un promedio por día, esto debido a que la planta cada hora se le realiza un monitoreo constante.



Tabla 9. Datos mes de diciembre 2021

FECHA	TIEMPO	CAUDAL (L/s)	TURBIEDAD U.T.M	
			CRUDA	FILTRADA
7/12/2021	13,500	20,013	2,381	0,490
8/12/2021	15,500	28,510	2,080	0,461
9/12/2021	14,200	34,260	2,470	0,702
10/12/2021	13,500	39,675	2,230	0,579
11/12/2021	14,200	36,920	1,900	0,838
12/12/2021	14,333	40,625	2,053	0,861
13/12/2021	16,182	41,464	2,650	0,913
15/12/2021	11,500	39,804	1,930	0,731
16/12/2021	9,412	39,665	2,769	0,764
17/12/2021	13,500	36,450	2,518	0,631
18/12/2021	14,000	35,587	1,850	0,656
19/12/2021	13,500	37,021	1,530	0,559
20/12/2021	13,500	38,800	1,485	0,541
21/12/2021	13,300	38,735	1,518	0,601
22/12/2021	12,500	41,925	1,417	0,537
23/12/2021	14,286	35,614	1,376	0,428
24/12/2021	14,000	40,654	1,721	0,426
25/12/2021	12,500	39,333	1,627	0,571

26/12/2021	11,500	41,320	1,330	0,502
27/12/2021	16,500	43,136	5,140	1,285
28/12/2021	13,000	40,700	3,089	0,971
29/12/2021	12,500	40,314	2,828	0,798
30/12/2021	12,500	40,171	2,210	0,653
31/12/2021	13,500	43,550	1,801	0,498



*Gráfico 1. Datos caudales de diciembre 2021*

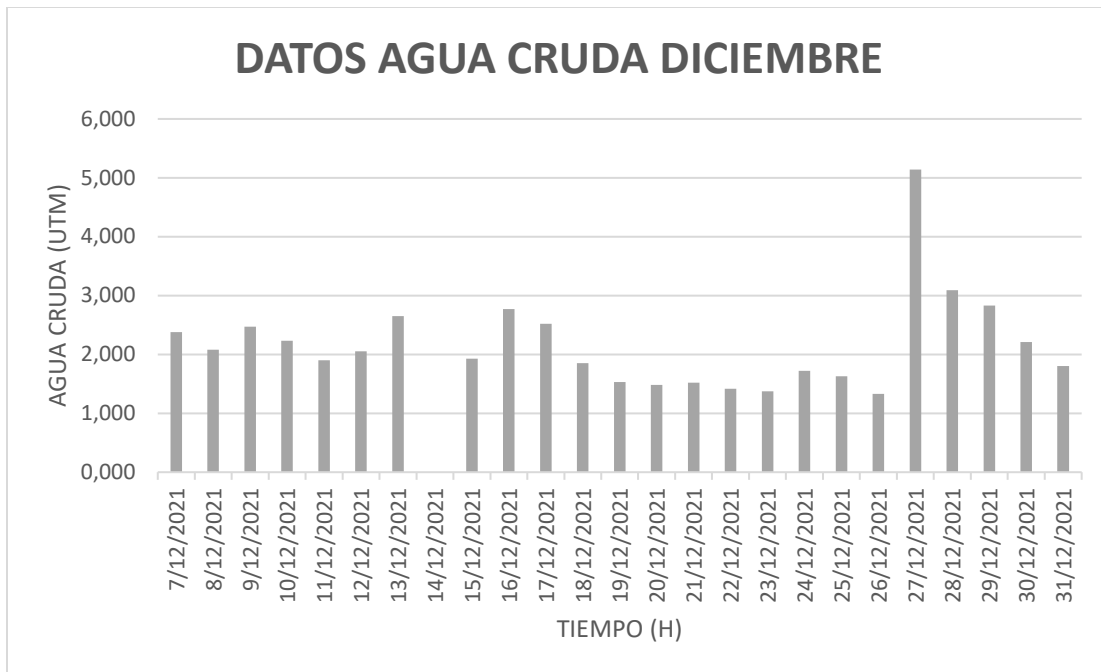


Gráfico 2. Datos agua cruda de diciembre 2021

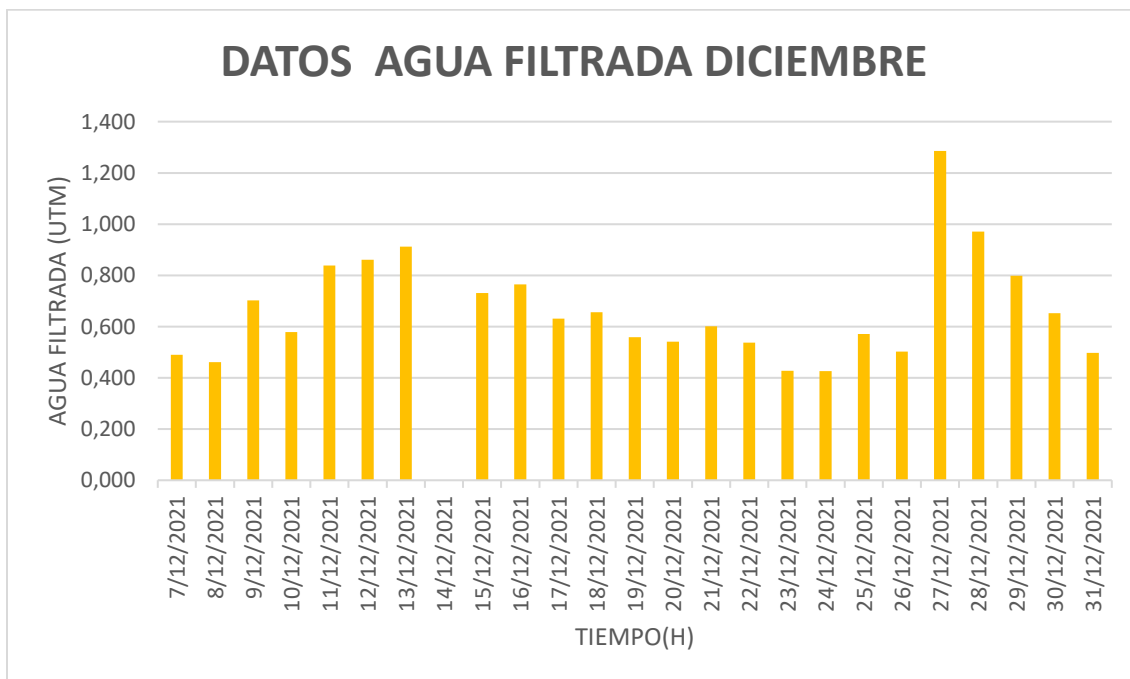


Gráfico 3. Datos agua filtrada diciembre 2021

Tabla 10. Datos mes de enero 2022

	TIEMPO	CAUDAL (L/s)	TURBIEDAD U.T.M	
			CRUDA	FILTRADA
1/1/2022	13,000	42,892	1,947	0,515
2/1/2022	12,500	41,500	2,098	0,627
3/1/2022	13,500	42,957	1,866	0,642
4/1/2022	12,500	43,608	2,585	0,674
5/1/2022	12,500	42,583	1,763	0,667
6/1/2022	11,000	40,356	1,852	0,669
7/1/2022	15,000	31,282	1,953	0,639
8/1/2022	40,916	1,654	0,551	0,000
9/1/2022	42,785	1,738	0,530	0,000
10/1/2022	44,292	1,698	0,519	0,000
11/1/2022	43,250	1,481	0,513	0,000
12/1/2022	42,764	1,788	0,558	0,000
13/1/2022	44,492	1,281	0,454	0,000
14/1/2022	43,938	1,250	0,437	0,000
15/1/2022	46,233	1,318	0,436	0,000
16/1/2022	42,754	1,335	0,419	0,000
17/1/2022	42,931	1,174	0,385	0,000
18/1/2022	41,489	1,147	0,435	0,000

19/1/2022	42,700	1,203	0,369	0,000
20/1/2022	43,346	1,343	0,366	0,000
21/1/2022	43,131	1,301	0,376	0,000
22/1/2022	41,164	1,095	0,328	0,000
23/1/2022	40,853	1,399	0,347	0,000
24/1/2022	42,958	1,100	0,321	0,000
25/1/2022	42,469	1,019	0,347	0,000
26/1/2022	40,423	1,180	0,316	0,000
27/1/2022	40,877	1,100	0,286	0,000
29/1/2022	41,138	1,005	0,264	0,000
30/1/2022	41,446	0,776	0,272	0,000

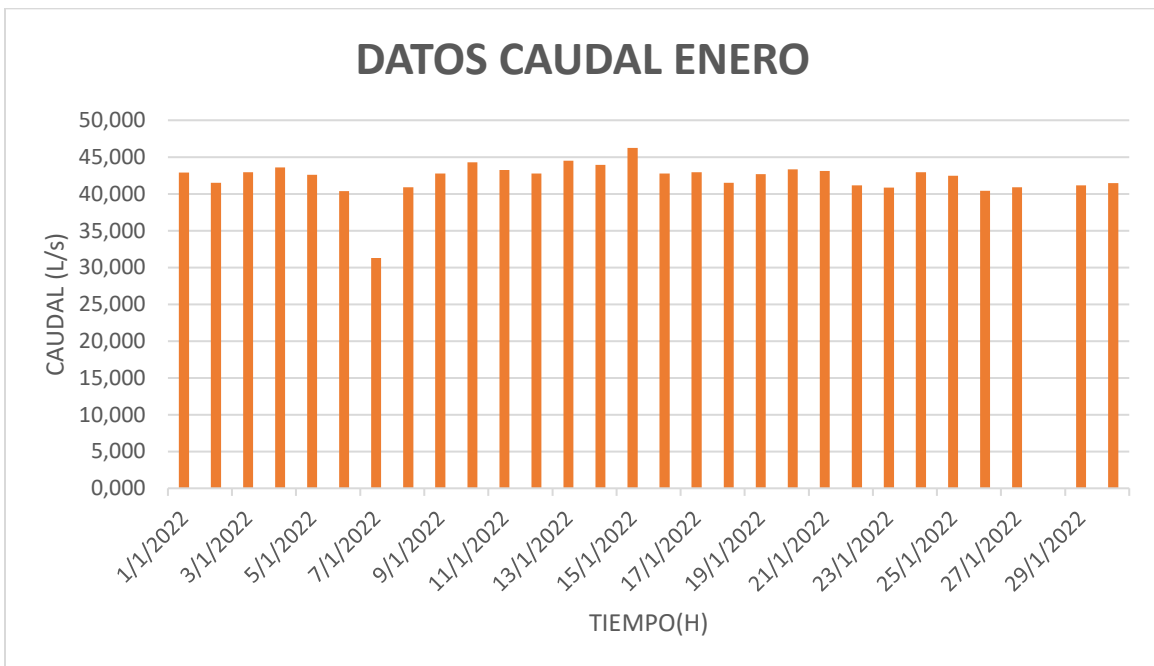


Gráfico 4. Datos caudal mes de enero 2022

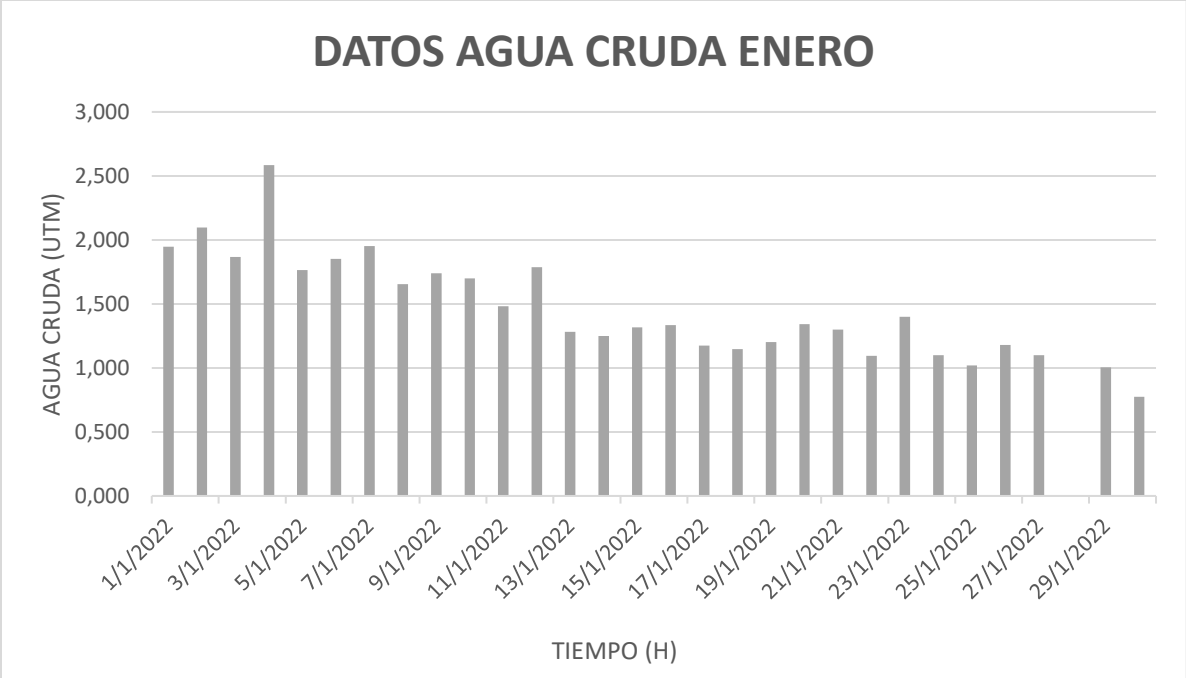


Gráfico 5. Datos agua cruda mes de enero 2022

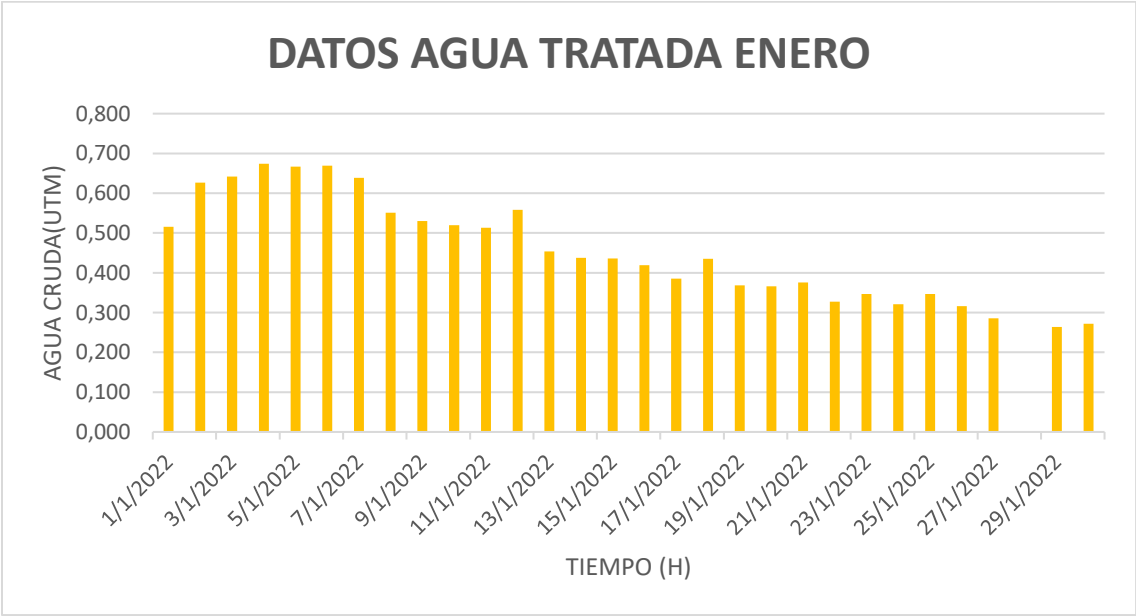


Gráfico 6. Datos agua tratada mes de enero 2022

*Tabla 11 datos mes de febrero 2022*

	TIEMPO	CAUDAL (L/s)	TURBIEDAD U.T.M		
			CRUDA	FILTRADA	
	11/2/2022	21,000	32,280	1,024	0,319
	12/2/2022	3,500	31,613	0,930	0,321
	16/2/2022	13,500	40,208	0,754	0,274
	17/2/2022	12,000	45,562	0,791	0,364
	18/2/2022	12,500	42,375	0,670	0,251
	19/2/2022	12,500	42,908	0,667	0,252
	20/2/2022	12,333	44,517	0,687	0,246
	21/2/2022	12,000	44,877	0,621	0,229
	22/2/2022	8,000	39,067	0,697	0,284
	23/2/2022	13,000	43,245	0,576	0,232
	24/2/2022	7,000	44,400	1,193	0,298
	26/2/2022	12,500	41,808	0,641	0,240
	27/2/2022	13,000	45,015	0,619	0,239
	28/2/2022	15,500	44,120	0,628	0,219

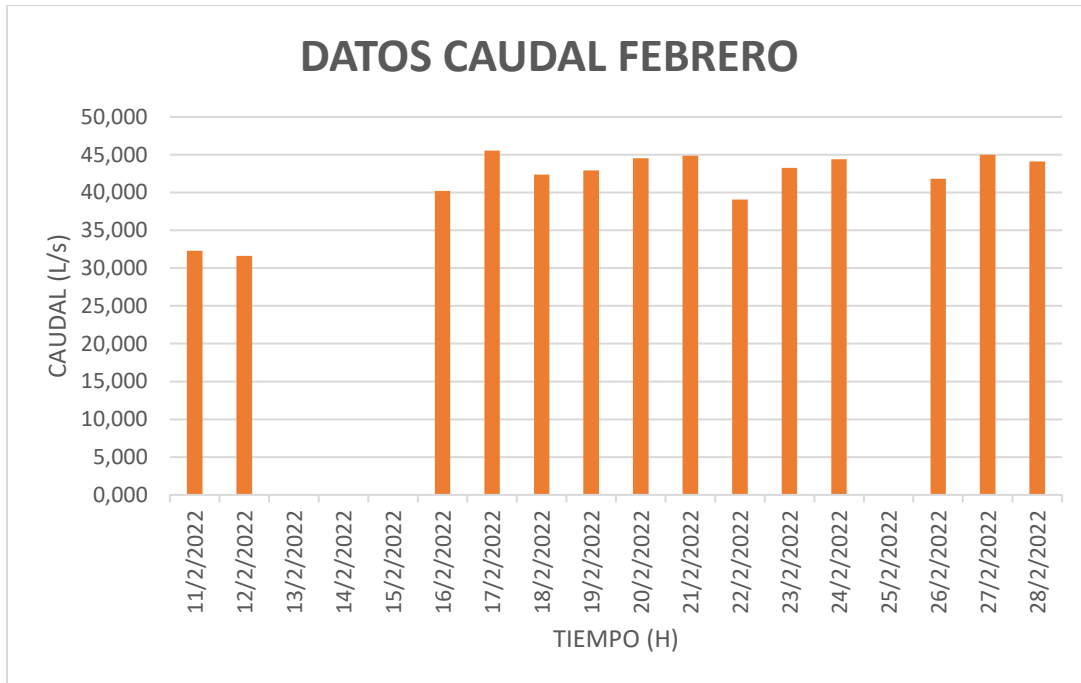


Gráfico 7. Datos caudal mes de febrero 2022

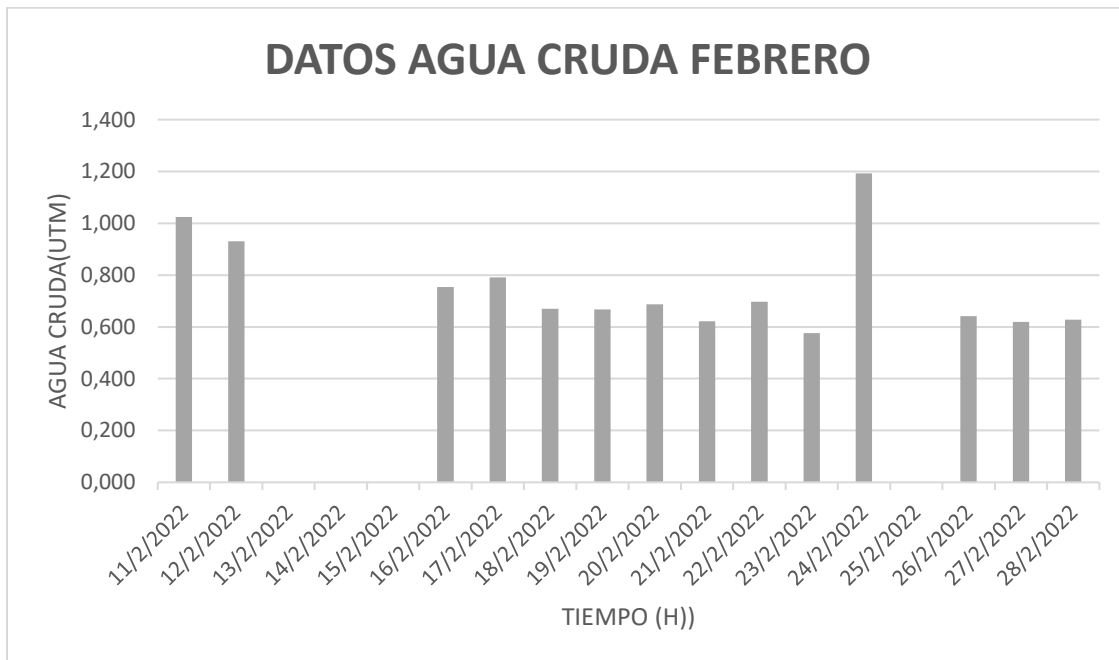
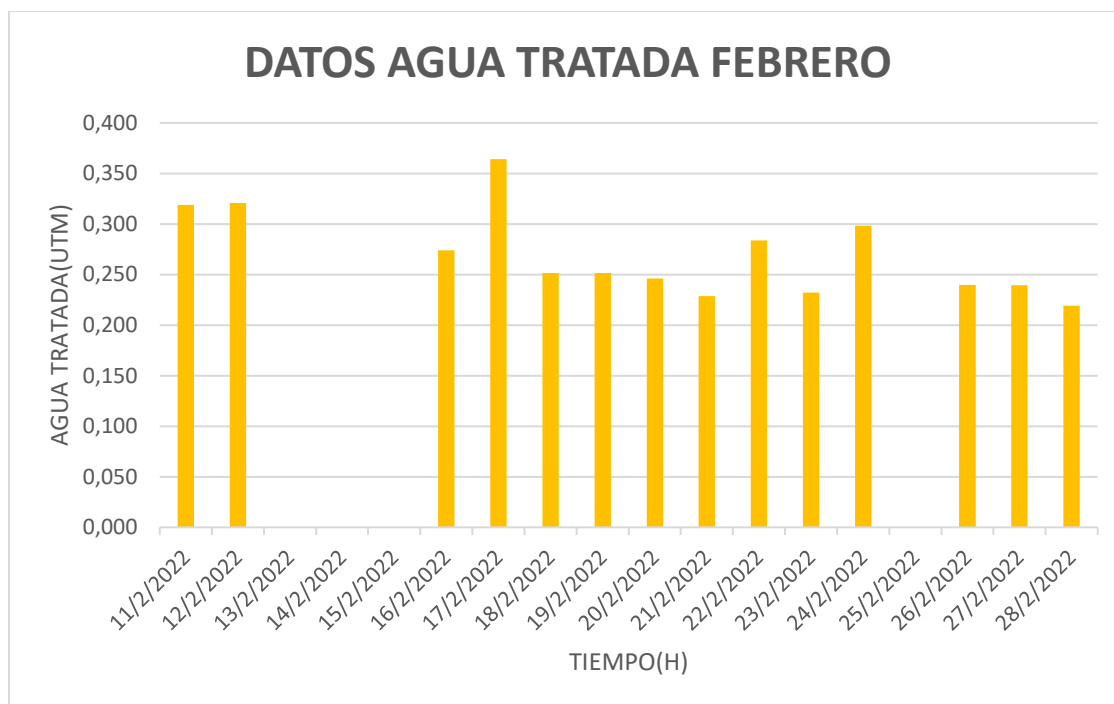


Gráfico 8. Datos agua cruda mes de febrero 2022





*Gráfico 9. Datos agua tratada mes de febrero 2022*

*Tabla 12 Datos mes de marzo 2022*

	TIEMPO	CAUDAL (L/s)	TURBIEDAD U.T.M	
			CRUDA	FILTRADA
1/3/2022	13,500	42,743	0,626	0,228
2/3/2022	12,500	44,267	0,590	0,224
3/3/2022	11,500	43,283	0,574	0,287
4/3/2022	12,000	43,800	0,568	0,280
5/3/2022	11,889	46,011	0,662	0,283
6/3/2022	13,500	42,983	0,652	0,304
7/3/2022	12,364	46,164	0,701	0,247

8/3/2022	13,500	33,663	0,649	0,287
9/3/2022	15,000	29,518	0,674	0,204
10/3/2022	13,737	30,726	0,638	0,210
11/3/2022	13,737	30,932	0,679	0,282
12/3/2022	15,000	30,229	0,544	0,243
13/3/2022	14,167	30,400	0,737	0,325
14/3/2022	15,833	30,458	0,661	0,289
15/3/2022	14,182	30,755	0,901	0,343
16/3/2022	14,000	29,500	0,752	0,310
17/3/2022	15,000	29,741	0,631	0,193
18/3/2022	14,500	30,422	0,694	0,209
19/3/2022	14,167	30,383	0,721	0,313
20/3/2022	13,500	32,581	0,658	0,298
21/3/2022	15,000	32,447	0,803	0,345
22/3/2022	13,647	32,276	0,810	0,395
23/3/2022	14,500	30,300	0,834	0,256
24/3/2022	14,500	29,861	0,693	0,214
25/3/2022	15,000	30,806	1,002	0,221
26/3/2022	14,500	29,944	0,738	0,214
27/3/2022	14,167	32,444	0,601	0,175
28/3/2022	13,647	29,953	0,761	0,295
29/3/2022	15,000	31,859	0,737	0,253

30/3/2022	14,000	30,200	0,761	0,171
31/3/2022	14,500	30,163	0,753	0,173

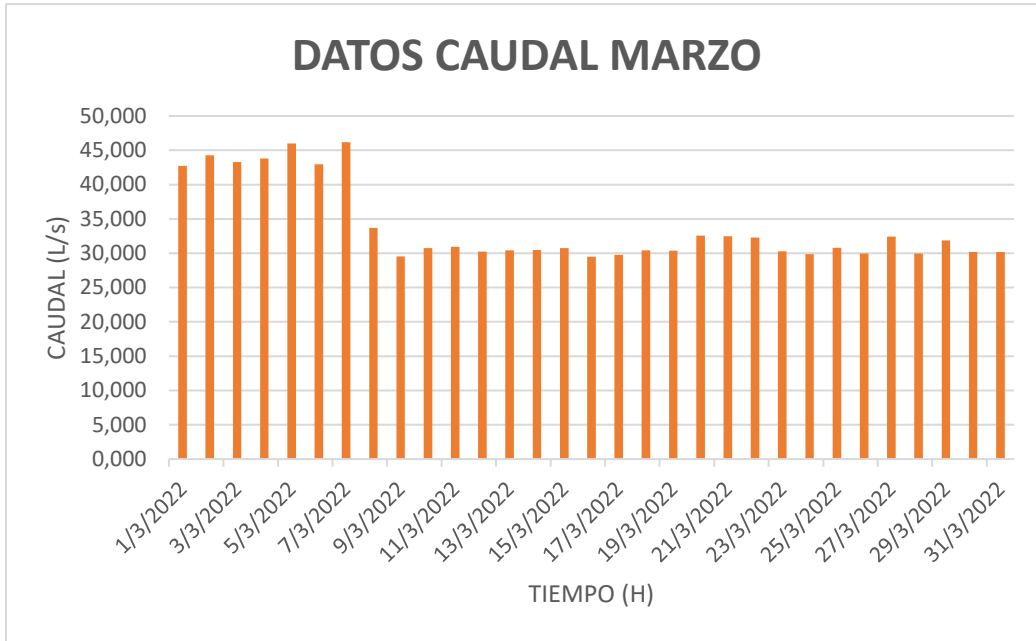


Gráfico 10. Datos caudal mes de marzo 2022

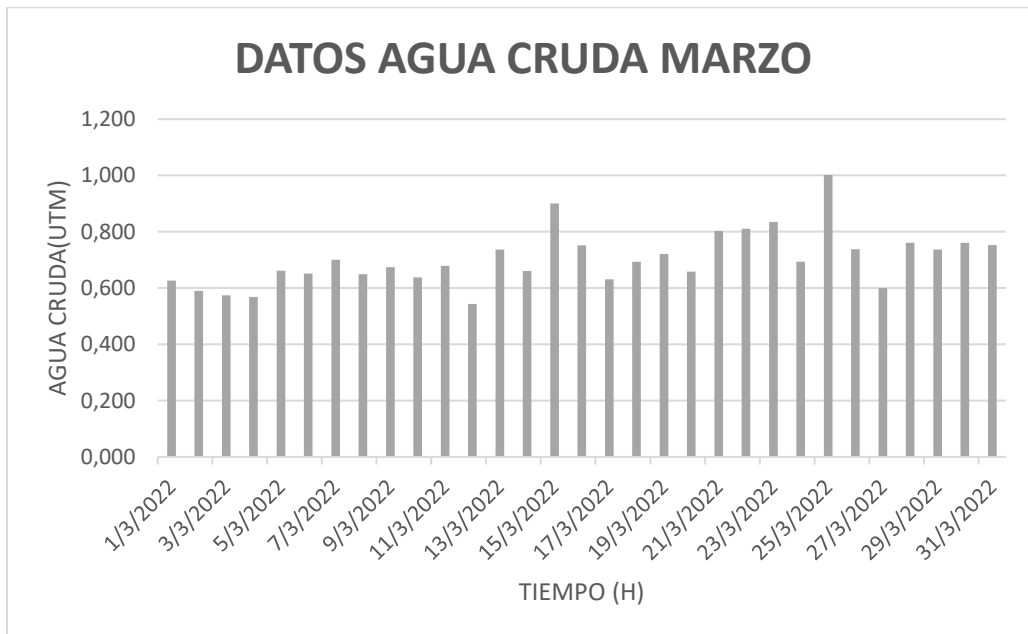


Gráfico 11. Datos agua cruda mes de marzo 2022

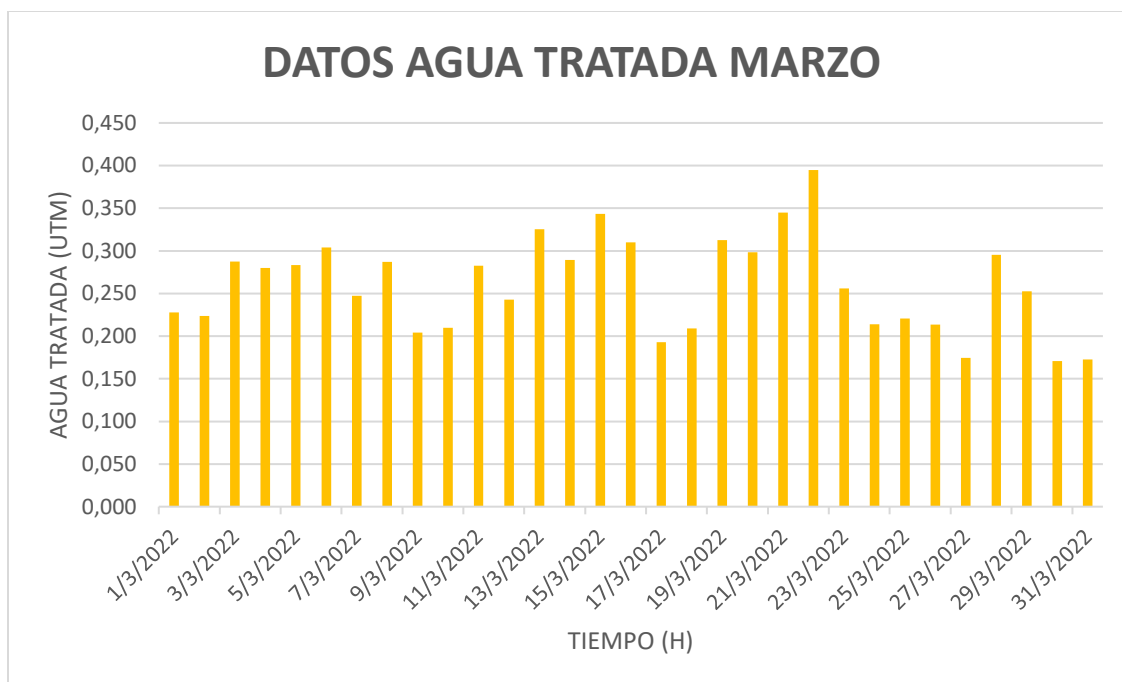


Gráfico 12. Datos agua tratada mes de marzo 2022

Tabla 13 Datos mes de abril 2022

	TIEMPO (L/s)	CAUDAL	TURBIEDAD U.T.M	
			CRUDA	FILTRADA
1/4/2022	14,500	30,167	0,759	0,182
2/4/2022	15,000	32,188	0,770	0,182
5/4/2022	15,000	29,362	0,962	0,222
6/4/2022	14,500	30,463	1,287	0,212
7/4/2022	13,000	32,447	0,735	0,257
8/4/2022	13,474	31,226	0,907	0,233
9/4/2022	14,167	31,061	0,675	0,151

10/4/2022	14,588	31,247	1,056	0,216
11/4/2022	14,500	30,839	1,693	0,409
12/4/2022	14,222	31,028	0,852	0,153
13/4/2022	15,000	31,059	0,904	0,166
14/4/2022	13,737	30,942	0,993	0,233
15/4/2022	15,000	30,832	0,860	0,173
16/4/2022	14,500	30,871	1,594	0,339
17/4/2022	13,100	31,695	4,181	0,434
18/4/2022	10,615	39,792	2,214	0,434
19/4/2022	14,000	32,376	1,243	0,307
20/4/2022	15,000	30,600	1,168	0,293
21/4/2022	14,000	31,627	1,255	0,305
22/4/2022	15,000	30,988	1,248	0,827

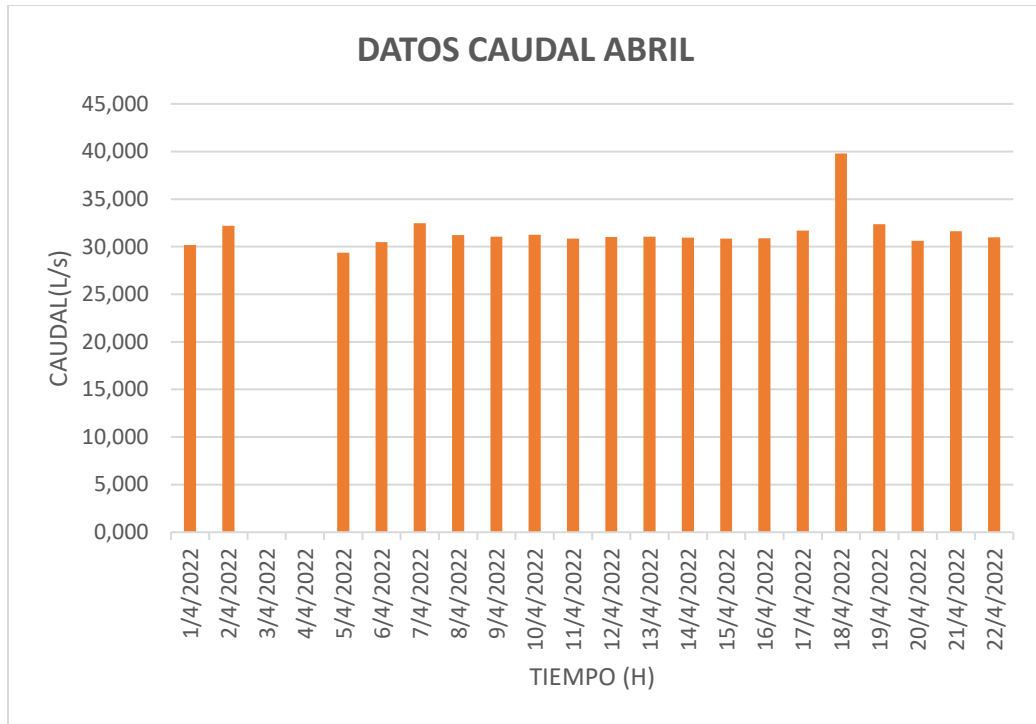


Gráfico 13. Datos caudal mes de abril 2022

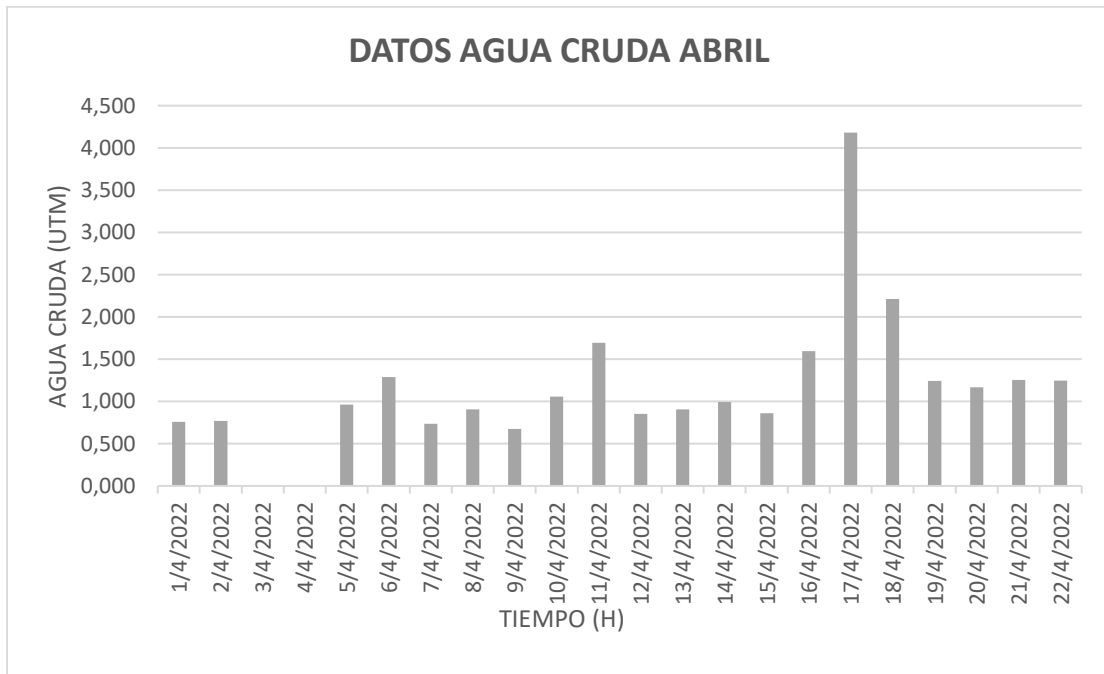
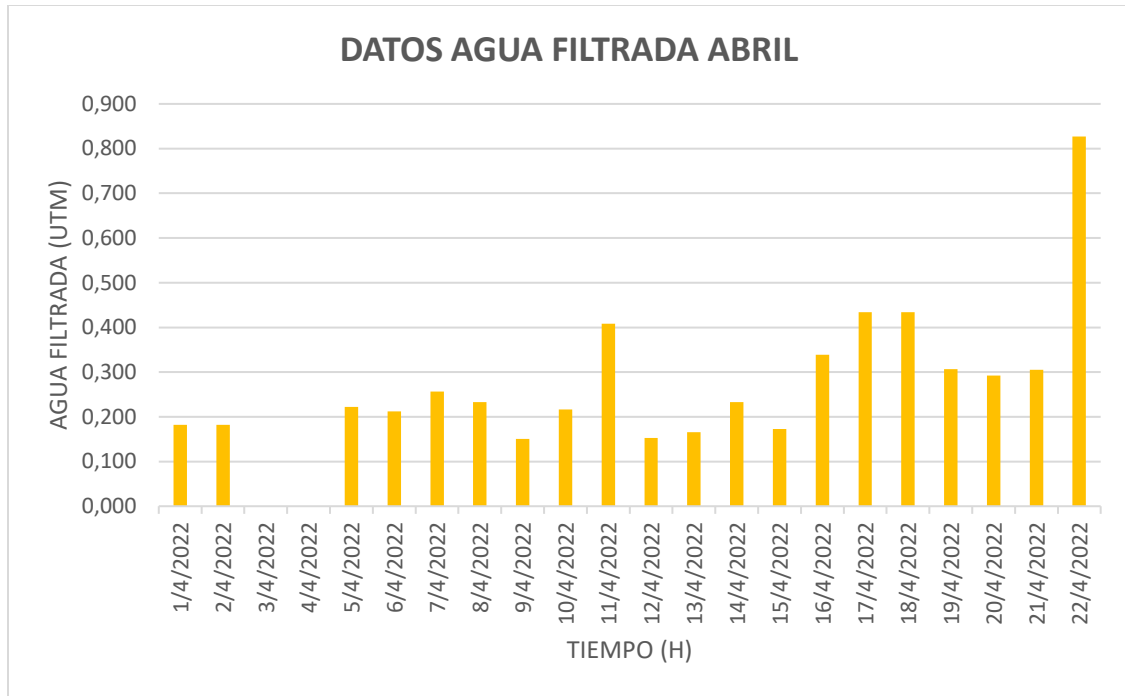


Gráfico 14. Datos agua cruda mes de abril 2022

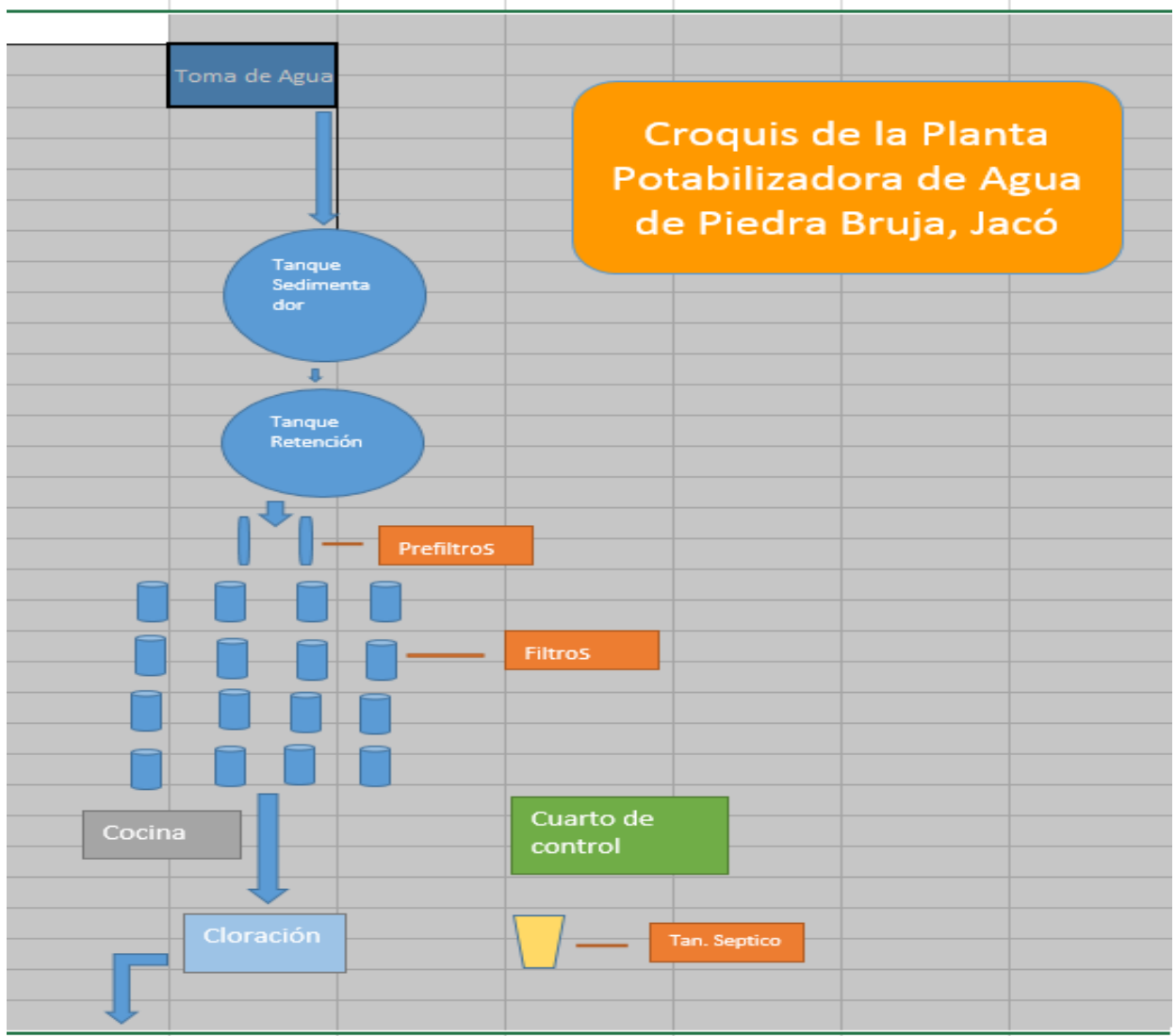


*Gráfico 15. Datos agua filtrada mes de abril 2022*

### **3.1.3 Esquema de Flujo**

En la planta al no contar con una estructura adecuada para realizar ensayos y poder analizar los datos, los compañeros no mantienen información sobre la misma y la mayor parte de información que posee es de hace muchos años. No se cuenta con planos, esquema de flujos exactos, ni manuales de mantenimiento u operación de las máquinas. Mucha de la información rescata como lo es el manual de la empresa extranjera se obtuvo mediante la persona encargada del proyecto en su momento que fue el Ingeniero Leonardo Moya. Gracias a él y a los operarios se pudo obtener un poco de información sobre la misma.

El croquis de la ilustración 28 muestra cómo se maneja la potabilización en la zona, desde su ingreso a la planta hasta la cloración que posteriormente es llevada a un tanque de almacenamiento para su debida distribución.



*Ilustración 13 Croquis de la planta Jacó*

### 3.2 Tiempos de retención teóricos

Para poder calcular el tiempo de retención teórico de cada uno de los procesos de la planta potabilizadora, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T_o = \frac{V_T}{Q * 60}$$

Donde:

To: Tiempo de retención



Vt: Volumen total ( $m^3$ )

Q: Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

Esta fórmula es aplicada a la tubería que conecta la toma con el mezclador estático, al floculador/sedimentador, a los prefiltros y los filtros para conocer el tiempo que transcurre el trazador en cada uno de los mencionados. El tiempo teórico para toda la planta era la suma de todos los volúmenes de los procesos y esto se divide entre el caudal de operación que se maneja en ese momento.

$$T_{RT} = \frac{V_T}{Q * 60}$$

$$T_{RT} = \frac{136m^3}{0,032 \frac{m^3}{s} * 60}$$

$$T_{RT} = 1h 10min$$

### 3.3 Ensayo de trazadores

La sustancia trazadora utilizada en el siguiente ensayo fue de sal pura donde se realizó una salmuera (consiste en la disolución de la sal con el agua) la cual se vertió en la entrada de agua a la planta.

#### 3.3.1 Cálculo de cantidad de trazador dosificación instantánea

Se realizó por dosificación instantánea,

$$P = \frac{V_T * k * C_o}{l * 10^3}$$

Donde:

P = Peso del trazador por añadir (kg)

V<sub>T</sub> = Volumen total (m<sup>3</sup>)

K = constante de corrección

Co = Concentración (mg/L o g/m<sup>3</sup>)

L = Grado de pureza del trazador

$$k = \frac{23 + 35.5}{35.5} = 1.65$$
$$P = \frac{136m^3 * 1,65 * 50 \left(\frac{mg}{L}\right)}{0,9 * 10^3}$$
$$P = 9,215 \text{ kg}$$

Realizando el ensayo de trazadores podremos obtener el tiempo real de retención que posee el floculador, además de mostrarnos las características de la unidad evaluada. El primer paso que se realizó en el ensayo fue la inspección del lugar, saber por dónde podríamos ingresar la salmuera para después realizar las tomas de este. El segundo paso es colocar la salmuera en la captación de agua para que pase por todos los procesos y poder hacer sus respectivas mediciones.

### **3.4 Evaluación de procesos**

#### **3.4.1 Mezcla rápida**

En la planta de Jacó actualmente dejaron de utilizar el coagulante y el proceso del mezclador estático se ha dejado de utilizar, según comentan los operadores se dejó de utilizar debido a que el mezclador estático había dejado de cumplir con su función, la misma es una mezcla vigorosa entre el Sulfato de Aluminio y el agua y permite reducir el tiempo de contacto con los mismos, además de que al tener turbiedades bajas no es necesario el coagulante.

Conversando con el Ing. Leonardo Moya comenta que el uso de Sulfato de Aluminio asegura la máxima eliminación de sólidos suspendidos a través de la anulación de la carga eléctrica de las partículas, además elimina los microorganismos que se encuentren en las partículas suspendidas. Es por esto por lo que es importante el uso de este, ya que actualmente no se está realizando la remoción o eliminación de los microorganismos que posee el agua cruda.

### 3.4.2 Floculación/ Sedimentación

#### 3.4.2.1 Caudal de Operación

El caudal de operación con la que estaba operando la planta a la hora de realizar el procedimiento es de  $32 \frac{L}{s}$ .

#### 3.4.2.2 Dimensiones del Floculador/Sedimentador

Las dimensiones que posee el floculador/sedimentador son las siguientes:

Diámetro: 4m

Largo: 8m

$$\text{Área: } \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{(4m)^2}{4} = 12,57m^2$$

$$\text{Volumen: } A * L = 12,57m^2 * 8m = 101 m^3$$

#### 3.4.2.3 Tiempo de retención y características hidráulicas del floculador/sedimentador

El tiempo de retención se obtiene de la siguiente forma:

$$T_o = \frac{V}{Q * 60}$$

Donde:

To: Tiempo de retención

V: Volumen ( $m^3$ )

Q: Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

$$T_o = \frac{101m^3}{0,032 \frac{m^3}{s}}$$

$$T_o = 53 \text{ min}$$

Como se mencionó anteriormente, el ensayo de trazadores permite conocer las condiciones hidráulicas y características de la unidad, luego de haber colocado la salmuera en la captación el tiempo estimado para que la sustancia pasara por el floculador/sedimentador fue de 40 minutos después de haber agregado la salmuera.

Al pasar los 40 minutos se empezó a realizar las muestras cada 5 minutos en la salida del floculador/sedimentador. Durante una hora con treinta minutos se realizaron un total de 13 muestras, al final la toma de cada una de estas muestras se procede a realizar la toma de la conductividad de cada una de estas, esto se realiza por medio de un conductímetro digital el cual es proporcionado por la Unidad Cantonal de Puntarenas del AyA.

Los siguientes datos son obtenidos mediante la prueba de trazadores, los cuales se gráfica y se procede a obtener la curva de Gauss.

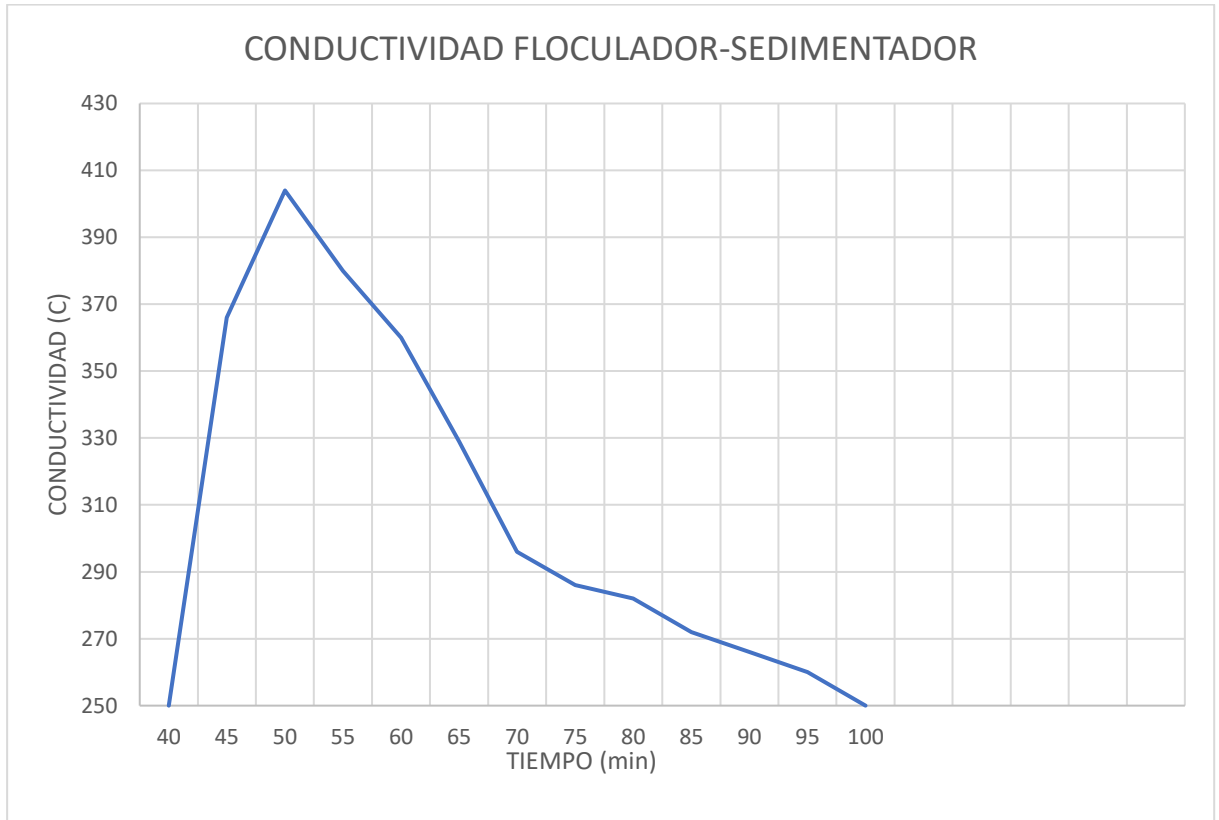
*Tabla 14. Datos prueba de trazadores del floculador/sedimentador*

Muestra	T (min)	Conductividad
1	40	250
2	45	366
3	50	404
4	55	380
5	60	360
6	65	329
7	70	296
8	75	286
9	80	282
10	85	272

11	90	266
12	95	260
13	100	250

Fuente: Propia.

Gráfico 16. Conductividad floculador/sedimentador



Fuente: Propia.

De la curva anterior se pudo obtener el tiempo real de retención, el mismo se obtiene mediante el uso de AutoCAD para poder obtener el centroide y el mismo resultó ser de 33,36 minutos. Luego por medio del Excel se obtuvo las características hidráulicas utilizando el método matemático, el mismo es obtenido por la línea de tendencia de los datos anteriores.

Tabla 15. Tiempos de retención

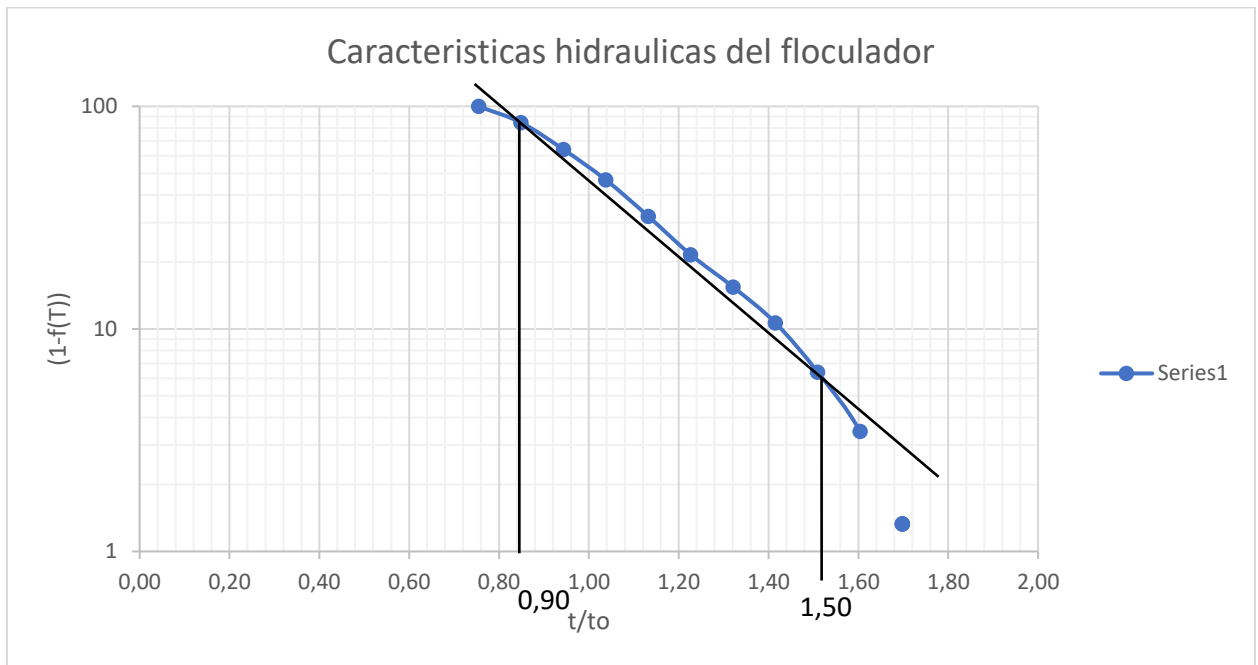
Tiempo real		Tiempo teórico	
Floculador/sedimentador	55 min	Floculador/sedimentador	33,36 min

Tabla 16. Resultado del ensayo de trazadores del floculador/sedimentador

Muestra	t	t/to	C	C-CO	$\Sigma$ (C-CO)	F(t)	1-f(t)
1	40	0,75	250	0	0	0,00	100
2	45	0,85	366	116	116	15,45	84,55
3	50	0,94	404	154	270	35,95	64,05
4	55	1,04	380	130	400	53,26	46,74
5	60	1,13	360	110	510	67,91	32,09
6	65	1,23	329	79	589	78,43	21,57
7	70	1,32	296	46	635	84,55	15,45
8	75	1,42	286	36	671	89,35	10,65
9	80	1,51	282	32	703	93,61	6,39
10	85	1,60	272	22	725	96,54	3,46
11	90	1,70	266	16	741	98,67	1,33
12	95	1,79	260	10	751	100,00	0,00
13	100	1,89	250	0	751	100,00	0,00

Fuente: Propia.

Gráfico 17 Características hidráulicas del floculador/sedimentador.



Fuente: Propia.

El resultado del análisis realizado a la curva de concentración del trazador en el efluente del floculador/sedimentador.

Análisis por el método de Wolf-Resnick

$$\frac{t1}{to} = 0,90$$

$$\frac{t2}{to} = 1,50$$

$$\text{tang } \phi = \frac{1}{\frac{t2}{to} - \frac{t1}{to}}$$

$$\text{tang } \phi = \frac{1}{0,90 - 1,50}$$

$$\text{tang } \phi = 1,67$$

Para calcular el flujo pistón se utiliza la siguiente fórmula:

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.453 + \theta \tan \alpha}$$
$$p = \frac{0.90 \times 1,67}{0.453 + 0.90 \times 1,67} = 0,768$$
$$P = 76,8\%$$

Para calcular el porcentaje de espacios muertos es la siguiente fórmula:

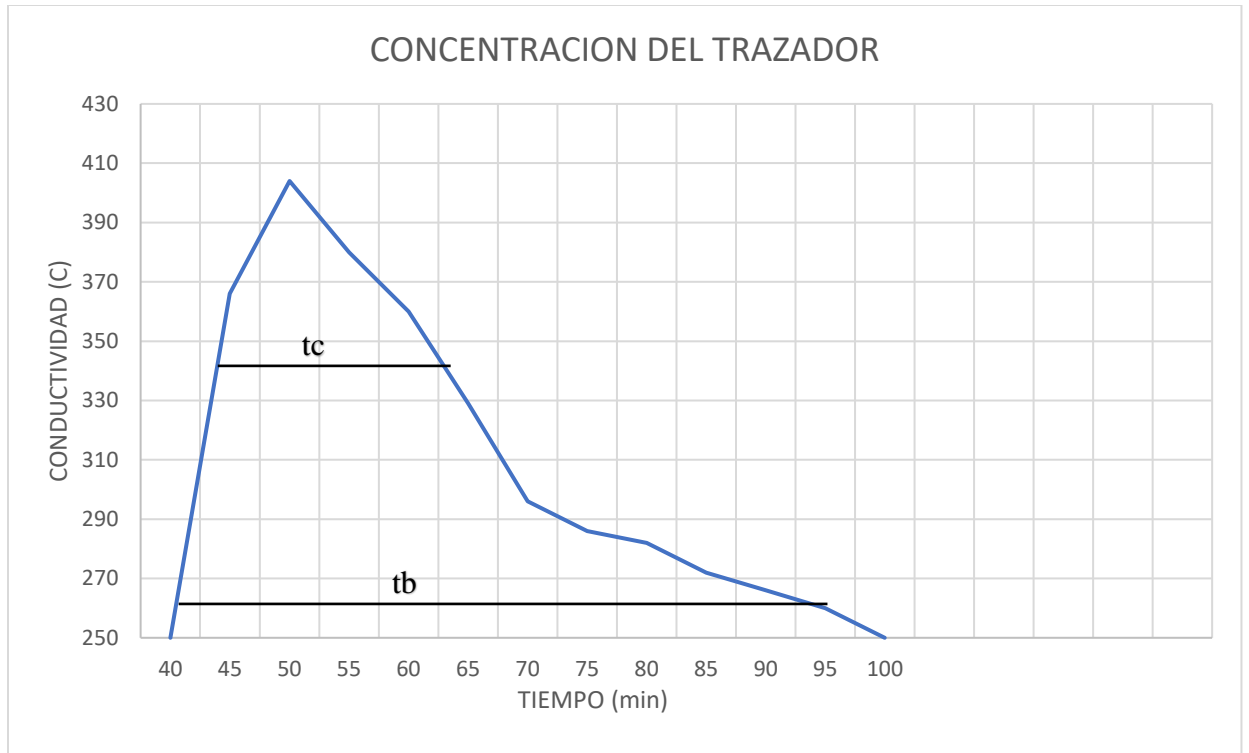
$$m = 1 - \frac{\theta}{P}$$
$$m = 1 - \frac{0.9}{0,768}$$
$$m=0,0$$
$$m=0\%$$

Para calcular el flujo mezclado es con la siguiente fórmula:

$$M = 1 - P$$
$$M = 1 - 0.768$$
$$M = 0,232$$
$$M = 23,2\%$$

Se procede a obtener la concentración del trazador mediante el siguiente gráfico





Fuente: Propia.

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

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

Tabla 17. Tiempos del floculador/sedimentador

Tiempos (min)	To	ti	Tp	tf	Tc	Tb	t50
Floculador	53	45	50	100	25	40,4	33,36

Fuente: Propia.

De los resultados anteriores se analiza la curva con los siguientes criterios:

Criterio	Consecuencia
$\frac{t1}{to} = 0.9 > 0.3$	No hay corto circuito hidráulico
$\frac{t50}{to} = \frac{33,36}{53} = 0.629 > 1$	Se aproxima a flujo mezclado
$\frac{tp}{to} = \frac{50}{53} = 0,94$	Existe predominio de flujo pistón
$\frac{tc}{to} = \frac{25}{53} = 0.47$	Flujo pistón
$\frac{tb}{to} = \frac{40,4}{53} = 0,76$	Flujo estable ideal
$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to} =$ $e = \frac{(100 - 50) - (50 - 45)}{53} = 0,85$	Tiende a flujo pistón

Fuente: Propia.

Tabla 18. Comportamiento hidráulico del floculador ascendente

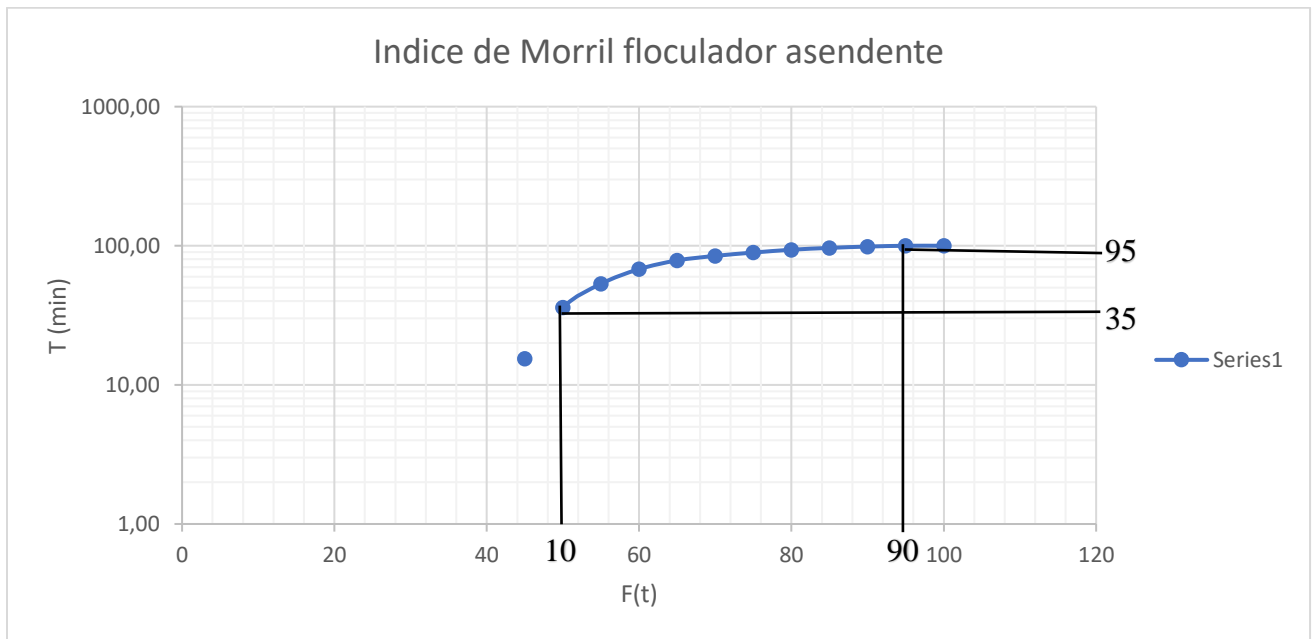
Comportamiento	Porcentaje
Flujo pistón	76,8%
Espacio muerto	0%
Flujo mezclado	23,2%

Fuente: Propia.

### 3.4.2.4 Índice de Morrill

Para proceder a determinar el Índice de Morrill se procede a graficar el tiempo y el porcentaje de trazador que está pasando por el floculador/sedimentador. Del gráfico se obtiene el 10% y 90% del área de la curva, obteniendo  $t_{10}$  y  $t_{90}$ .

Gráfico 18. Índice de Morrill del floculador/sedimentador



Fuente: Propia.

De la gráfica 18 se obtuvo la siguiente información:

$$t_{90} = 95$$

$$t_{10} = 35$$

#### **3.4.2.5 Unidades de floculación hidráulica**

La finalidad de este ensayo es poder determinar el gradiente de velocidad con el que trabaja cada tramo del floculador. Dicho ensayo no se pudo realizar en la planta debido a que no se cuenta con el equipo necesario para poder realizarlo además de que en el floculador/sedimentador no cuenta con la entrada adecuada para realizarlo.

#### **3.4.2.6 Tiempo de formación del flóculo**

El ensayo de tiempo de formación del floculo tiene como finalidad determinar el tiempo de demora del floculo en empezar a formarse. Dicho ensayo no se pudo realizar en la planta debido a que se dejó de utilizar el coagulante en la misma debido a que el proceso de mezcla rápida no está cumpliendo con la función por la cual fue diseñada.

#### **3.4.2.7 Tamaño de flóculo producido**

El ensayo de tamaño del floculo producido tiene la finalidad de determinar el tamaño del floculo formado en la unidad de floculación. Al igual que el ensayo de tiempo de formación del floculo, este no se pudo realizar debido a que en la planta se ha dejado de utilizar el coagulante y la detección del mal funcionamiento de los mezcladores.

### **3.4.3 *Sedimentación***

La evaluación de los sedimentadores en la planta de Jacó no se realiza por aparte debido a que la misma cuenta con un floculador/sedimentador, donde cumplen con las dos funciones al mismo tiempo en un mismo proceso.

### **3.4.4 Filtración**

#### **3.4.4.1 Características de la unidad**

La planta potabilizadora de Jacó tiene la particularidad de tener 16 filtros, siendo una planta donde la filtración es rápida, además de contar con dos prefiltros que se encuentran colocados después del floculador/sedimentador. En los prefiltros el agua ingresa al filtro a través de la Entrada pasa a través de la malla gruesa que funciona como un primer punto de retención para las partículas gruesas. El agua llega luego a la malla fina que purifica el flujo separando las partículas más pequeñas del agua. Cuanta más agua fluye, más partículas se acumulan en la malla fina. A medida que se van acumulando partículas en la malla, se va creando una diferencia de presión entre la sección interna de la malla fina y su sección externa. Cuando la diferencia de presión (DP) llega al valor prefijado en el Presóstato Diferencial se desencadena el proceso de lavado, mientras el agua continúa llegando al usuario. La válvula de lavado se abre, la presión se libera en el pistón hidráulico y el agua fluye al exterior. La presión en la cámara del motor hidráulico, y en el colector de impurezas se reduce significativamente y las boquillas del colector de impurezas comienzan un proceso de succión. El agua fluye a través del motor hidráulico el cual hace girar al colector de impurezas sobre su eje. La depresión producida en el pistón hidráulico la alta presión dentro del filtro, causan un movimiento lineal del colector de impurezas. La combinación del movimiento lineal y de rotación limpia en forma exhaustiva la superficie interna de la malla fina. El ciclo de lavado se desarrolla en 10 segundos. La válvula de lavado se cierra al final del ciclo el incremento de la presión hace retornar al pistón hidráulico a su posición inicial. El filtro está listo para el siguiente ciclo. con agua limpia filtrada la que fluye a través de la salida. Nota: En la parte trasera del pistón hay un indicador que avisa cuando el pistón llega al final de su movimiento - este indicador ayudará a verificar si el colector de impurezas ha completado su recorrido. (Yamit ELI, 2008. Pág 22).

El filtro granular profundo, está diseñado para eliminar partículas suspendidas a través de su paso por el lecho filtrante. En la medida que el agua fluye a través del filtro, los flóculos y partículas son atraídos a los granos del medio filtrante por fuerzas adhesivas y efectos de la tensión superficial. El lecho filtrante está compuesto por una media multicapa compuesta por basalto, arena y antracita. Mantener la correcta velocidad de filtrado es esencial para obtener un óptimo desempeño durante años de operación. De acuerdo a la calidad del fluido, de la

prefiltración, así como del pre-tratamiento, se puede lograr agua filtrada con valores de sólidos suspendidos próximos a cero. (Yamit ELI, 2008, pag 23).

#### 3.4.4.2 Caudal de Operación

El caudal de operación con la que estaba operando la planta a la hora de realizar el procedimiento es de  $32 \frac{L}{s}$ .

#### 3.4.4.3 Dimensiones de los filtros

Las dimensiones que posee del filtro son las siguientes:

Diámetro: 1,2m

Altura: 1,5m

$$\text{Área: } \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{(1,2m)^2}{4} = 1,13m^2$$

Volumen:  $A * L = 1,13m^2 * 1,5m = 1,7 m^3$  de un filtro

Volumen total:  $1,7 m^3 * 16 = 27,2m^3$

#### 3.4.4.4 Tiempo de retención y características hidráulicas del floculador/sedimentador

El tiempo de retención se obtiene de la siguiente forma:

$$T_o = \frac{V}{Q * 60}$$

Donde:

To: Tiempo de retención

V: Volumen ( $m^3$ )

Q: Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

$$T_o = \frac{27,2m^3}{0,032 \frac{m^3}{s}}$$

$$T_o = 15 \text{ min}$$

Como se mencionó anteriormente, el ensayo de trazadores permite conocer las condiciones hidráulicas y características de la unidad, luego de haber colocado la salmuera en la captación el tiempo estimado para que la sustancia pasara por los filtros fue de 50 minutos después de haber agregador la salmuera.

Al pasar los 50 minutos se empezó a realizar las muestras cada 5 minutos en la salida de los filtros. Durante una hora con treinta minutos se realizaron un total de 13 muestras, al final la toma de cada una de estas muestras se procede a realizar la toma de la conductividad de cada una de estas, esto se realiza por medio de un conductímetro digital el cual es proporcionado por la Unidad Cantonal de Puntarenas del AyA.

Los siguientes datos son obtenidos mediante la prueba de trazadores, los cuales se gráfican y se procede a obtener la curva de Gauss.

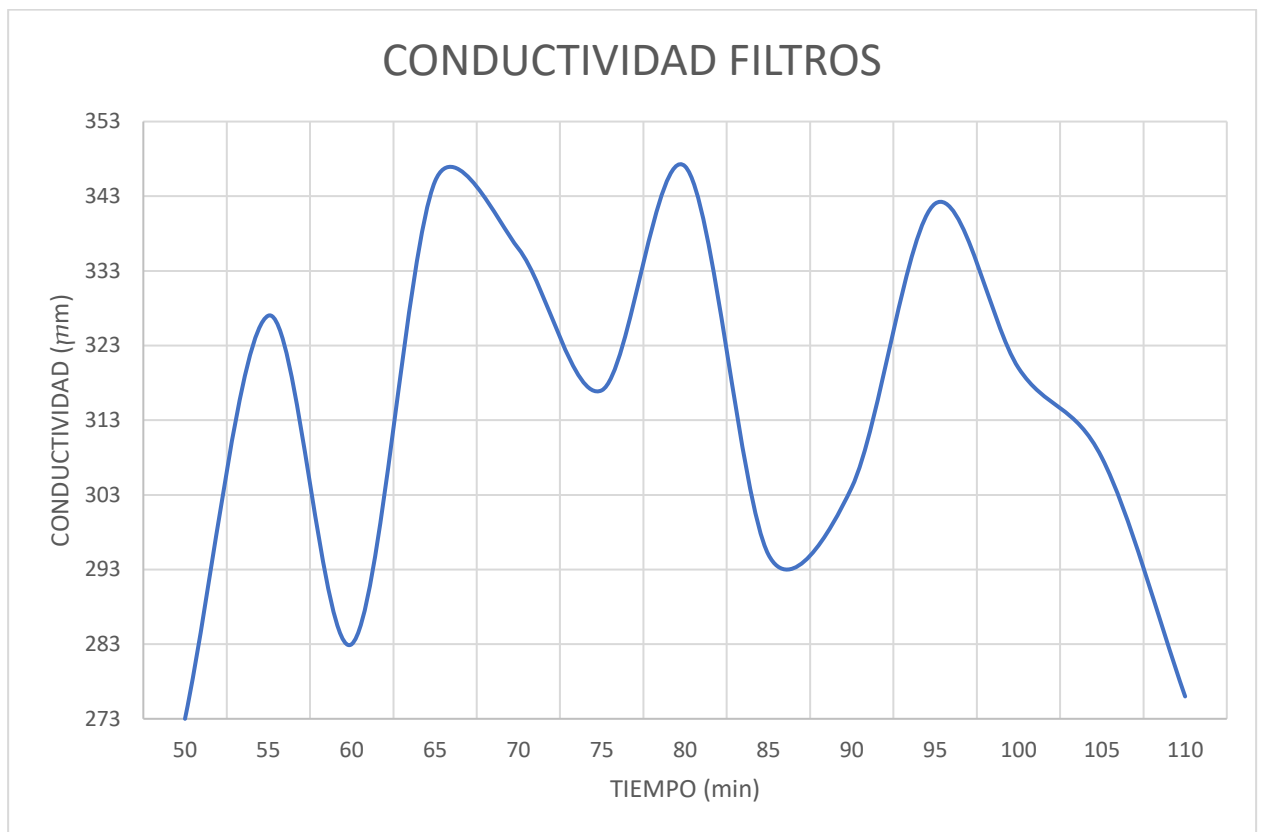
*Tabla 19. Datos prueba de trazadores de filtros*

Muestra	T (min)	Conductividad
1	50	273
2	55	327
3	60	283
4	65	345
5	70	336
6	75	317
7	80	347
8	85	295
9	90	304
10	95	342

11	100	320
12	105	308
13	110	276

Fuente: Propia.

Gráfico 19. Conductividad filtros



Fuente: Propia.

De la curva anterior se pudo obtener el tiempo real de retención, el mismo se obtiene mediante el uso de AutoCAD para poder obtener el centroide y el mismo resultado ser de 52 minutos. Luego por medio del Excel se obtuvo las características hidráulicas utilizando el método matemático, el mismo es obtenido por la línea de tendencia de los datos anteriores.



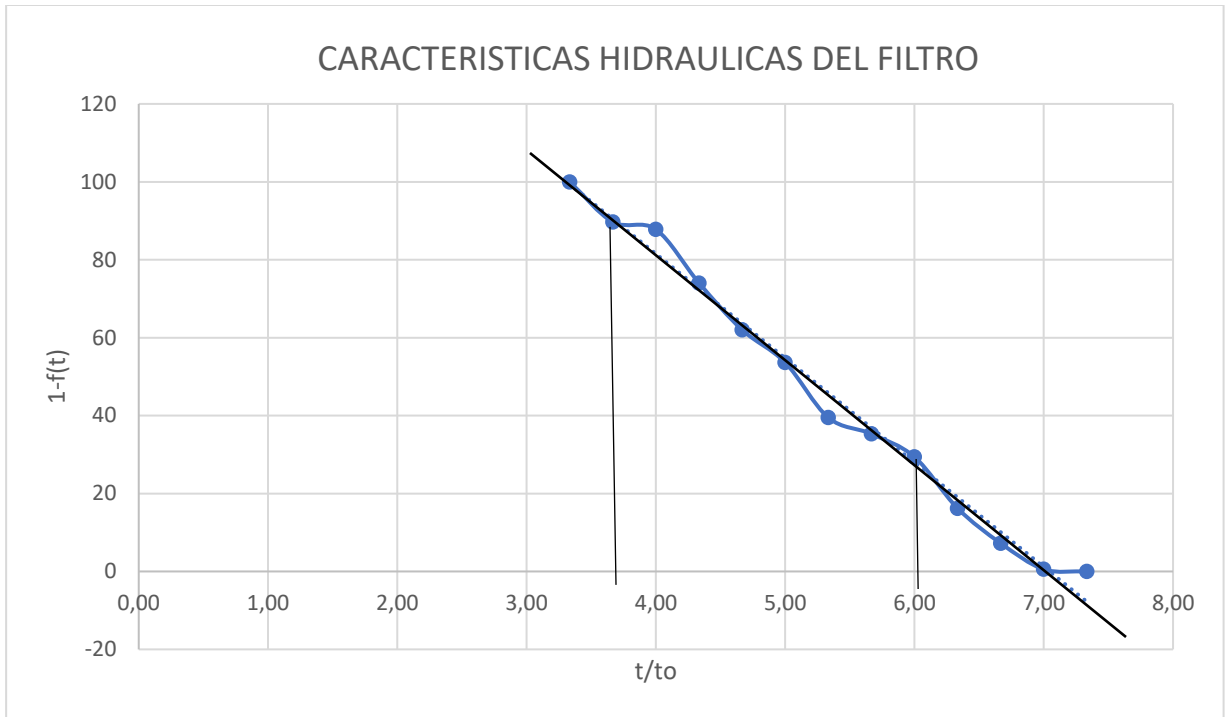
Tabla 20. Tiempos de retención de los filtros

Tiempo real		Tiempo teórico	
Filtros	15 min	Filtros	52 min

Tabla 21. Resultados del ensayo de trazadores de los filtros

Muestra	t	t/to	C	C-CO	$\Sigma$ (C-CO)	F(t)	1-f(t)
1	50	3,33	273	0	0	0,00	100
2	55	3,67	327	54	54	10,31	89,69
3	60	4,00	283	10	64	12,21	87,79
4	65	4,33	345	72	136	25,95	74,05
5	70	4,67	336	63	199	37,98	62,02
6	75	5,00	317	44	243	46,37	53,63
7	80	5,33	347	74	317	60,50	39,50
8	85	5,67	295	22	339	64,69	35,31
9	90	6,00	304	31	370	70,61	29,39
10	95	6,33	342	69	439	83,78	16,22
11	100	6,67	320	47	486	92,75	7,25
12	105	7,00	308	35	521	99,43	0,57
13	110	7,33	276	3	524	100,00	0,00

Fuente: Propia.



Fuente: Propia.

El resultado del análisis realizado a la curva de concentración del trazador en el efluente del floculador/sedimentador.

Análisis por el método de Wolf-Resnick

$$\frac{t1}{to} = 3,8$$

$$\frac{t2}{to} = 6,00$$

$$tang \phi = \frac{1}{\frac{t2}{to} - \frac{t1}{to}}$$

$$tang \phi = \frac{1}{6,00 - 3,80}$$

$$tang \phi = 0,45$$

Para calcular el flujo pistón se utiliza la siguiente fórmula:

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.453 + \theta \tan \alpha}$$
$$p = \frac{3,8 \times 0,45}{0.453 + 3,8 * 0,45} = 0,79$$
$$P = 79\%$$

Para calcular el porcentaje de espacios muertos es la siguiente fórmula:

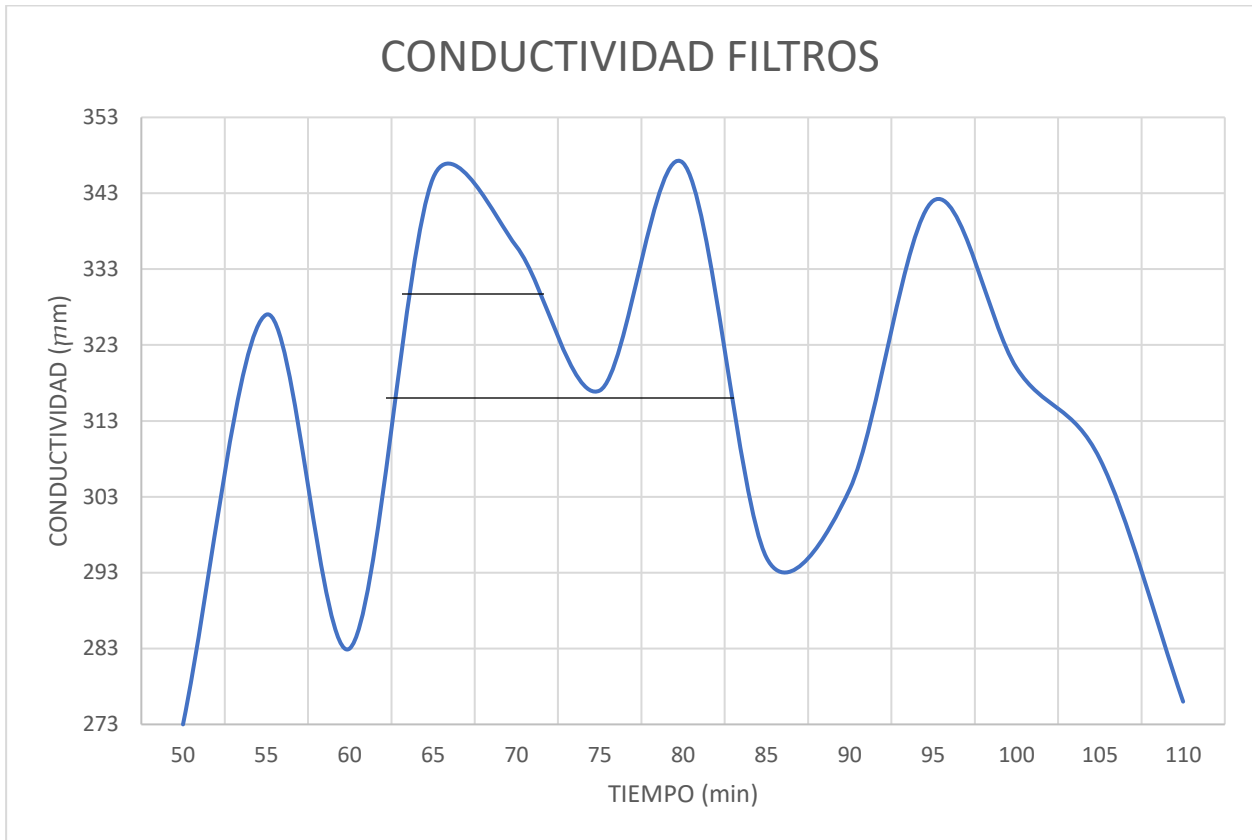
$$m = 1 - \frac{\theta}{P}$$
$$m = 1 - \frac{3,8}{0,79}$$
$$m=0,0$$
$$m=0\%$$

Para calcular el flujo mezclado es con la siguiente fórmula:

$$M = 1 - P$$
$$M = 1 - 0.79$$
$$M = 0,21$$
$$M = 21\%$$

Se procede a obtener la concentración del trazador mediante el siguiente gráfico.

Gráfico 20. Concentración de trazadores en los filtros



Fuente: Propia.

Tabla 22. Significado de variables

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

T50=tm                      Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador.

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

Tiempos (min)	To	ti	Tp	tf	Tc	Tb	t50
Floculador	15	50	80	110	30	35	52

Fuente: propia

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

*Tabla 23. Características hidráulicas de los filtros*

Criterio	Consecuencia
$\frac{t1}{to} = 3,8 > 0.3$	No hay evidencia de cortos circuitos
$\frac{t50}{to} = \frac{52}{15} = 3,47 > 1$	Existencia de espacios muertos donde el trazador se queda retenido
$\frac{tp}{to} = \frac{80}{15} = 5,33$	Existe únicamente flujo pistón
$\frac{tc}{to} = \frac{30}{15} = 2$	Flujo estable ideal
$\frac{tb}{to} = \frac{35}{15} = 2,33$	Flujo mezclado ideal

$$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to} =$$

$$e = \frac{(110 - 80) - (80 - 50)}{15} = 0$$

Flujo de pistón

Fuente: Propia.

Tabla 24. Comportamiento hidráulico de los filtros

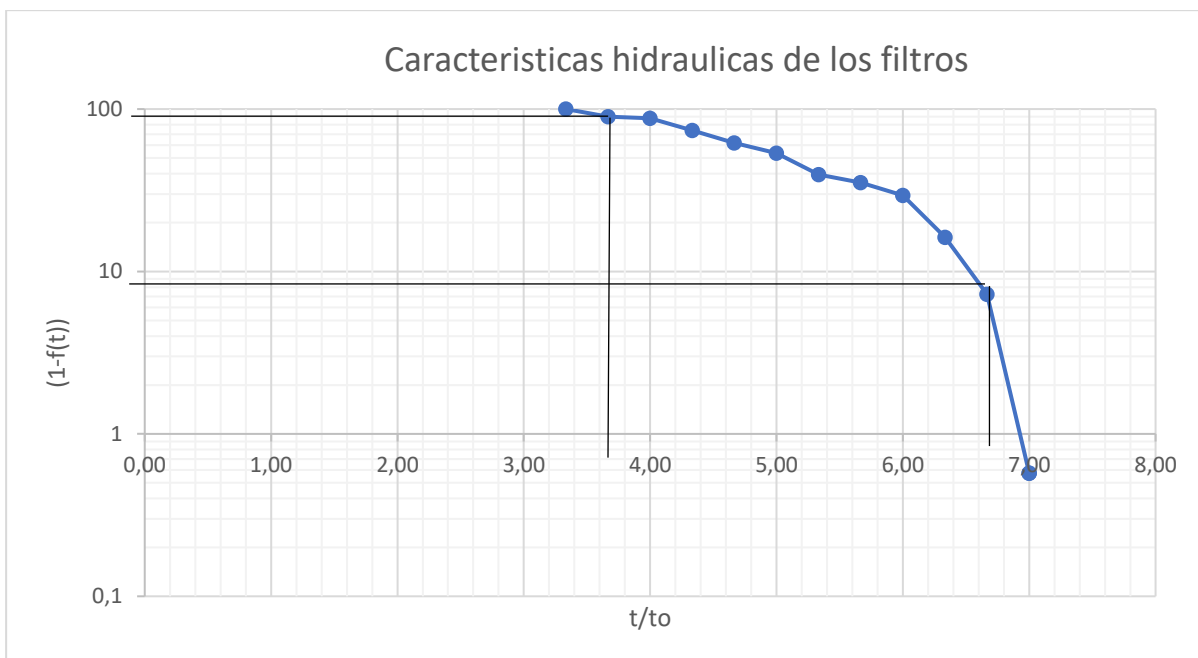
Comportamiento hidráulico de los filtros

Comportamiento	Porcentaje
Flujo pistón	79%
Espacio muerto	0%
Flujo mezclado	21%

### 3.4.4.5 Índice de Morrill

Para proceder a determinar el Índice de Morrill se procede a graficar el tiempo y el porcentaje de trazador que está pasando por el floculador/sedimentador. Del gráfico se obtiene el 10% y 90% del área de la curva, obteniendo t10 y t90.

Gráfico 21. Índice de Morrill filtros



De la gráfica 21 se obtuvo la siguiente información:

$$t_{90} = 9$$

$$t_{10} = 95$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}} = \frac{9}{95} = 0,0947$$

#### 3.4.4.6 Calidad de filtrado inicial

La calidad del filtrado inicial se puede conocer después del proceso del lavado, el primer efluente del filtro por lo general muestra la mayor turbiedad que el resto debido a que al ser el primero una parte de las partículas que se desprendieron durante el lavado todavía permanece en el filtro y estas salen apenas inicie el proceso. La función principal de este proceso es poder determinar el comportamiento del filtro al iniciar la carrera de filtración y determinar el tiempo que demora en alcanzar una turbiedad normal.

En la planta de Jacó se realizó una muestra cada minuto, durante los 10 minutos de lavado que se realiza a cada filtro, en este caso se tomó las muestras del filtro #16 que es el último filtro por la cual pasa el agua.

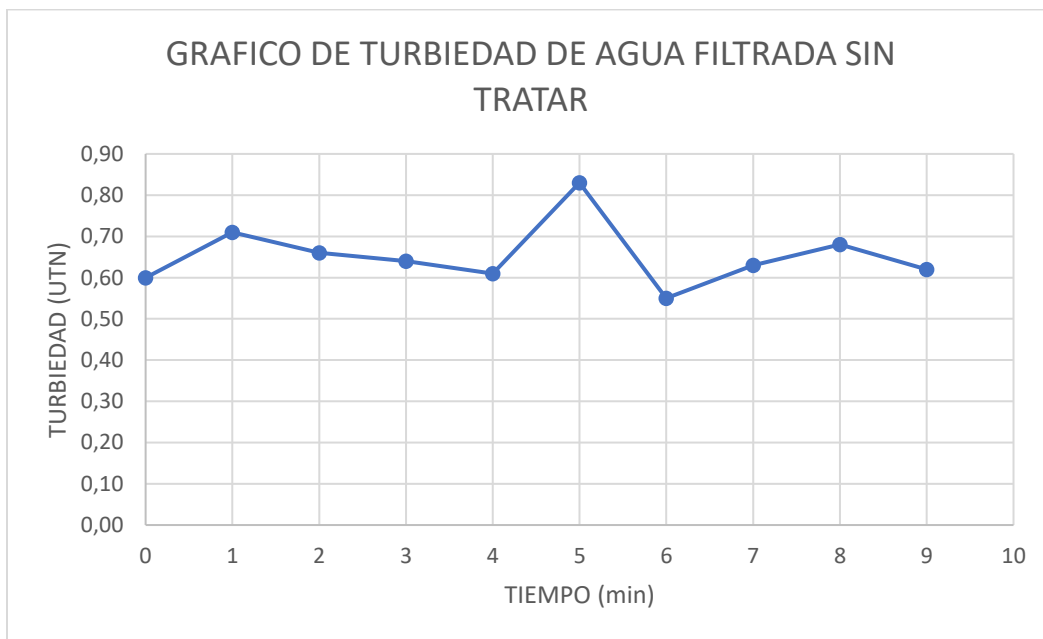
*Tabla 25. Calidad de filtrado inicial*

TOMA	TIEMPO (min)	TURBIEDAD (UTN)
1	0	0,60
2	1	0,71
3	2	0,66
4	3	0,64
5	4	0,61

6	5	0,83
7	6	0,55
8	7	0,63
9	8	0,68
10	9	0,62

Fuente: Propia

Gráfico 22. Filtrado inicial



#### 3.4.4.7 Duración del proceso de lavado

En este proceso se obtiene de las aguas que salen de los filtros y van a dar de nuevo a la quebrada. En este ensayo luego de haber realizado el lavado del filtro las turbiedades obtenidas del agua aumentan en un principio y pueden llegar los valores superiores a 1000 UNT, a medida que se va limpiando la turbiedad va disminuyendo y los datos obtenidos se grafican para poder interpretar la curva.



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

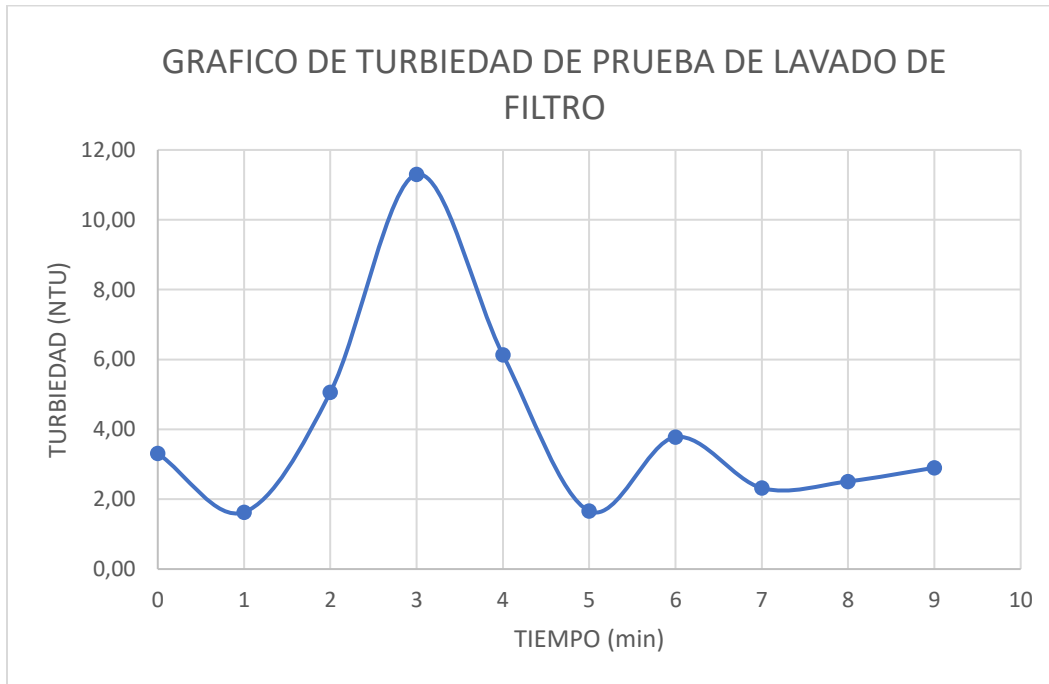
Dicho ensayo se realizó durante los 10 minutos que toma el filtro en lavarse y se toman 10 muestras, una para cada minuto.

*Tabla 26. Datos del tiempo de lavado*

MUESTRA	TIEMPO (min)	TURBIEDAD
		(UTN)
1	0	3,31
2	1	1,63
3	2	5,06
4	3	11,30
5	4	6,13
6	5	1,66
7	6	3,78
8	7	2,32
9	8	2,51
10	9	2,90

Fuente: Propia

Gráfico 23. Lavado del filtro



### 3.4.5 Desinfección

#### 3.4.5.1 Dosis óptima de cloro o curva de demanda de cloro

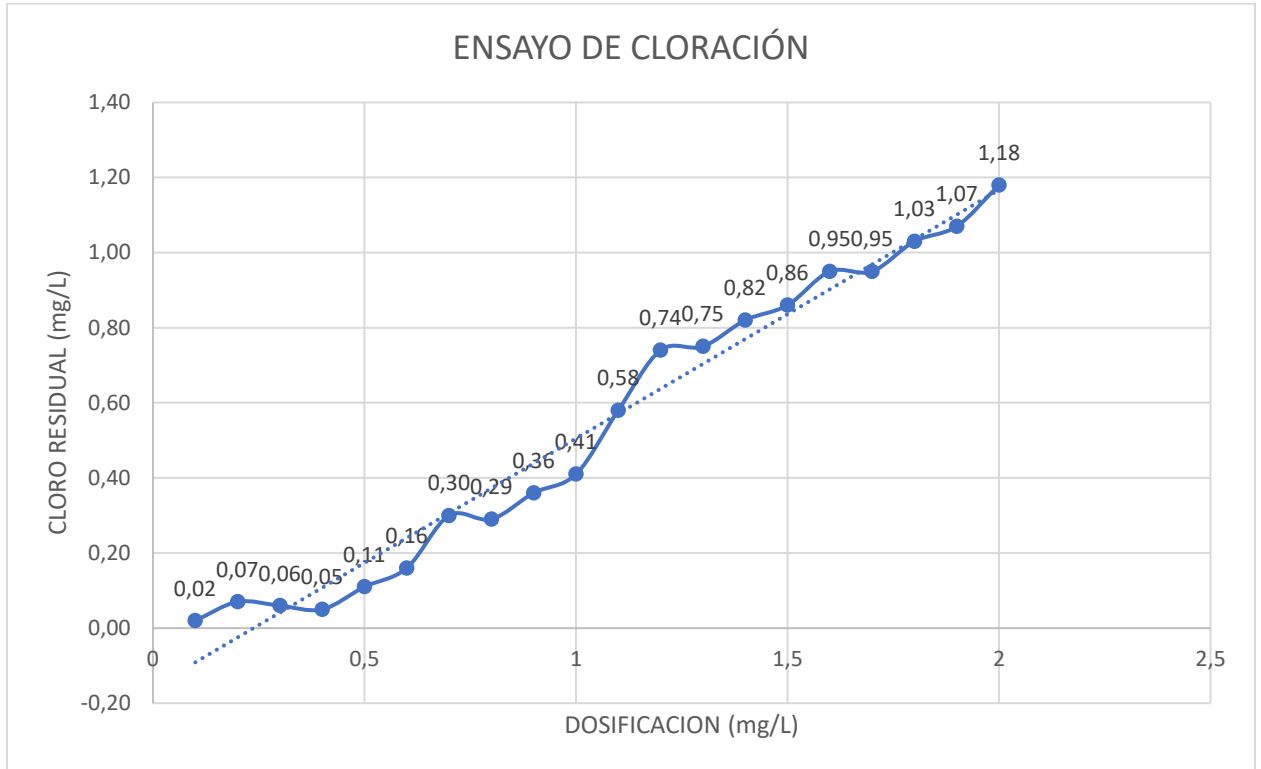
El ensayo de dosis óptima de cloro es aquel donde la dosis que produce el residual de cloro estipulado por las normas en el punto más alejado de la planta. En dicho ensayo se procedió a dosificar una concentración de cloro de 30ml al 70% en un envase de 1 litro de agua destilada, de esta forma se obtiene la concentración madre. Se procede agregar agua filtrada sin clorar de la planta de Jacó en frascos de 250ml, dicho procedimiento se realizó durante 20 veces, y en cada uno de estos frascos se fue aumentando la cantidad de cloro, ya que de esta forma se obtiene el rango de cloro residual combinado y el cloro residual libre presente en el agua. Con los siguientes datos se procede a graficar las muestras.

*Tabla 27. Datos del ensayo de cloración*

DOSIS (ml/L)	COLORO RESIDUAL (mg/l)
0,1	0,02
0,2	0,07
0,3	0,06
0,4	0,05
0,5	0,11
0,6	0,16
0,7	0,30
0,8	0,29
0,9	0,36
1	0,41
1,1	0,58
1,2	0,74
1,3	0,75
1,4	0,82
1,5	0,86
1,6	0,95
1,7	0,95
1,8	1,03
1,9	1,07

Fuente: Propia.

Gráfico 24. Curva de dosificación óptima



Fuente: Propia.

Realizando un análisis al gráfico anterior, la dosis óptima de cloro se observa que el punto de quiebre sucede al dosificar 0,8 ml/L de cloro, a partir de este punto empieza de cloro residual al cloro libre. Dichos datos nos dan a entender que la calidad del agua es muy buena y que también la efectividad del tratamiento es bastante buena. Dicho cumple con el reglamento estipulado para la Calidad del agua.

### 3.5 Diseño del desarenador

#### 3.5.1 Datos

- Caudal de Diseño: 60 lps (0,06 m<sup>3</sup>/s)
- Densidad relativa de la arena: 2,65
- Diámetro de la partícula: 0,02 cm
- Temperatura del agua: 23 °C

Después de tener los datos anteriores nos dirigimos a la tabla 9 del anexo para poder obtener la viscosidad cinemática ( $\eta$ ).

#### 3.5.2 Viscosidad cinemática

Viscosidad Cinemática ( $\eta$ ) = 0.9403x10<sup>-2</sup> cm<sup>2</sup>/s.

Luego, de la fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) * d^2$$

Donde:

V<sub>s</sub>: Velocidad de sedimentación.

G: Gravedad

$\rho_s$ : Densidad relativa de la arena

$\eta$ : Viscosidad Cinemática

d: Diámetro de la partícula.

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \frac{cm}{s^2} * \left( \frac{2,65 - 1}{0,9403 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}} \right) * (0,02 cm)^2$$

$$V_s = 3,83 \frac{cm}{s}$$

### 3.5.3 *Número de Reynolds*

Se realiza una comprobación del número de Reynolds

$$Re = \frac{Vs * d}{\eta}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

Vs: Velocidad de sedimentación

d: diámetro

$\eta$ : Viscosidad Cinemática

$$Re = \frac{3,83cm/s * 0,02cm}{0,9403 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}}$$

Re= 8,15.

El dato anterior nos muestra que al ser  $Re > 0,5$  no se encuentra en la zona de la Ley de Stokes. Al ser  $Re > 0,5$  quiere decir que se encuentra en la zona de transición (la Ley de Allen).

### 3.5.4 *Coefficiente de Arrastre*

Se determina el coeficiente de arrastre

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0,34$$

Donde:

Cd: Coeficiente de arrastre

R: Numero de Reynolds

$$C_D = \frac{24}{8,15} + \frac{3}{\sqrt{8,15}} + 0,34$$

$$C_D = 4,34$$

### 3.5.5 Velocidad de sedimentación de la partícula en zona de transición

Al tener ya el conocimiento de que se encuentra en la zona de transición, se aplica nuevamente la velocidad de sedimentación, pero esta vez aplicado a dicha zona.

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_d} * (\rho_s - 1) * d}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \frac{cm}{s^2}}{4,34} * (2,65 - 1) * 0,02cm}$$

$$V_s = 3,15 \frac{cm}{s}$$

### 3.5.6 Eficiencia

Si se asume que la eficiencia es del 75% de acuerdo con la gráfica en el anexo se adopta de un coeficiente de seguridad de 1,75.

$$V_{s'} = \frac{Q * C_{coeficiente.seguridad}}{A_s}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad de sedimentación.

Coeficiente Seguridad: Se obtiene mediante el gráfico suponiendo una eficiencia.

$A_s$ : Área superficial.

$$A_s = \frac{Q * C_{coeficiente.seguridad}}{V_s}$$

$$A_s = \frac{0,06 \frac{m^3}{s} * 1,75}{0,0315 \frac{m}{s}}$$

Se obtiene el área superficial es de  $3,33 \text{ m}^2$ .

### **3.5.7 Propuesta dimensiones**

Se determinan las dimensiones con respecto a los criterios de diseño.

- Largo: 10m
- Ancho: 1m
- Profundidad: 1,5m

### **3.5.8 Velocidad Horizontal**

$$V_h = \frac{Q}{At}$$

Donde:

Vh: Velocidad horizontal.

Q: Caudal

At: Área transversal.

$$V_h = \frac{0,060 \text{ m}^3/\text{s}}{(1,5\text{m} * 1\text{m})}$$

$$V_h = 0,04 \text{ m/s}$$

$$V_h = 4 \text{ cm/s}$$

### **3.5.9 Periodo de retención**

$$As = \frac{(1\text{m} * 1,5\text{m} * 10\text{m})}{0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$



$$As = 250s$$

$$As = 4,16 \text{ min}$$

### **3.5.10 Tramo de transición**

$$L1 = \frac{B - b}{2 * tg\theta}$$

$$L1 = \frac{1m - 0,3m}{2 * tg(12^\circ)}$$

$$L1 = 1,64m$$

### **3.6 Presupuesto**

En el presupuesto realizado es para poder mostrar una ampliación en la estructura que poseen actualmente en la planta, ya que la misma no cuenta con el espacio adecuado para el área de cloración, el área administrativa, además de no contar con laboratorio para los ensayos que se deben estar realizando constantemente al agua de la planta para poder conocer las condiciones hidráulicas de los procesos y poder realizar mejoras en los mismos.

En la Ilustración 29 se puede notar que la estructura no se encuentra en las mejores condiciones para poder ser habitada por los operadores que manejan la planta, a la misma nunca se le ha realizado alguna mejora ni mantenimiento. En la Ilustración 30 se observa el área administrativa, en donde se encuentran los equipos que están conectados a la planta además de tener el espacio administrativo para los operadores, como se puede observar la misma al igual que el área de cocina a la misma no se le ha realizado mantenimiento ni algún arreglo, esta estructura se encuentra desde el inicio de la planta. En la ilustración 31 se encuentra el área de Cloración, en esta área no cuenta con la suficiente ventilación con la que debe de contar (como se muestra en la imagen), además de no contar con una poza o piscina de agua que permita el control en caso de suceder una fuga de gas de cloro.



*Ilustración 14. Cocina administrativa*

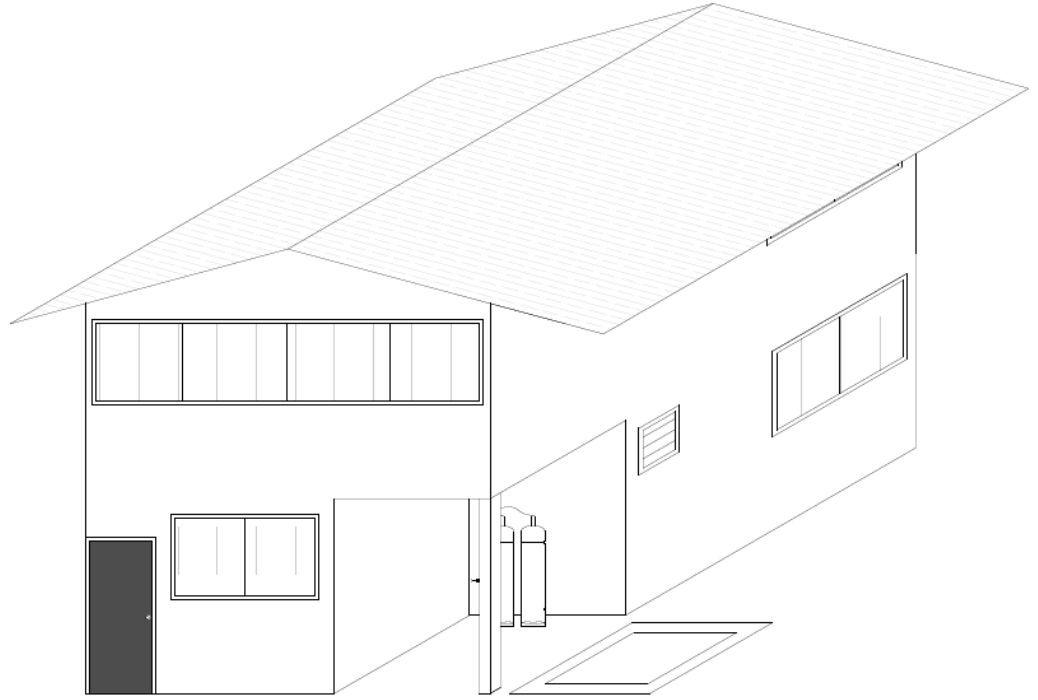


*Ilustración 15. Área administrativa*



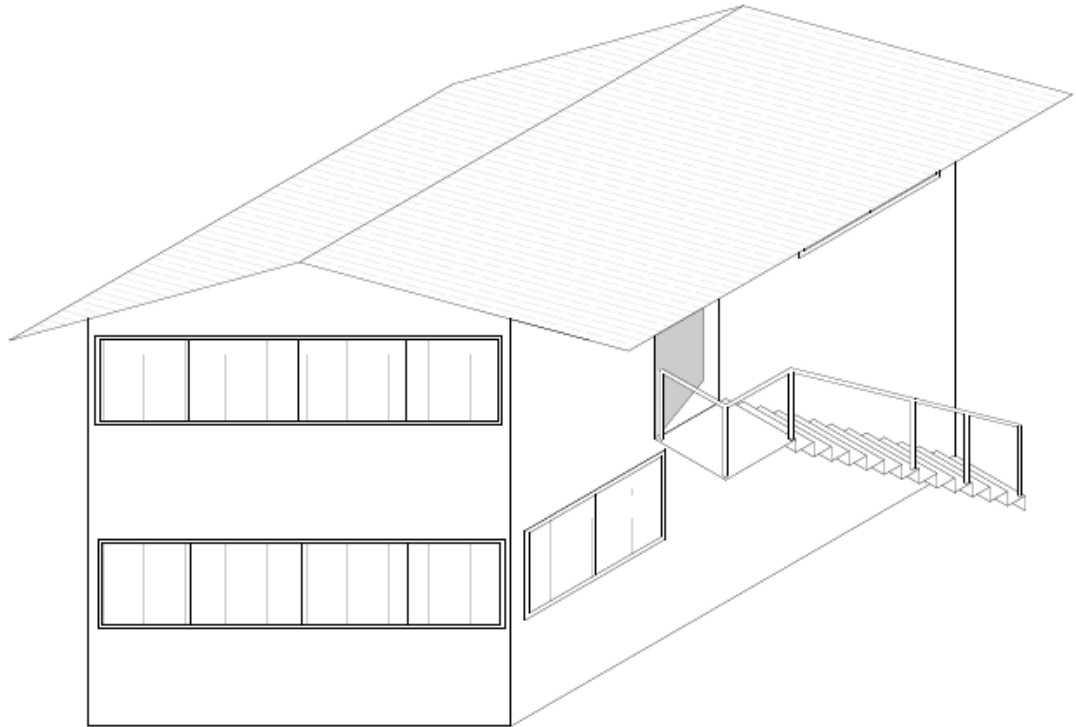
*Ilustración 16. Área de Cloración*

En la propuesta que se desea realizar es ampliar el área de construcción que se encuentra actualmente, eliminando la cocina que se encuentra en la Ilustración 29 y ampliando la zona de la ilustración 30. Pasando de tener un área de  $21,7 m^2$  a tener una estructura de dos niveles, con escaleras, piscina de la cloración, laboratorio de ensayos, área administrativa y su cocina, teniendo un área de construcción de  $73,21 m^2$ . Dicho presupuesto es un presupuesto general, contando materiales y mano de obra, además del 13% del I.V.A.



ELEVACIÓN TRASERA  
Escala 1:1

*Ilustración 17. Propuesta ampliación edificio parte trasera*



## ELEVACIÓN PRINCIPAL

Escala 1:1

*Ilustración 18. Propuesta ampliación edificio parte principal*

El siguiente presupuesto toma en cuenta todo lo necesario para poder realizar la ampliación del área administrativa, algunas tareas a realizar son:

- Paredes exteriores en block de 15x20x40 en primer nivel.
- Divisiones internas en durock.
- Entrepiso en durock con viguetas metálicas.
- Paredes exteriores en material liviano en segundo nivel.
- Cubierta en zinc estructural #26.
- Cielorraso en tablilla plástica.

- Piso en porcelanato.
- Repello fino en paredes.
- Loza sanitaria blanca.
- Enchape de ducha
- Construcción de piscina de cloración.
- Parte eléctrica
  - Caja de breaker.
  - Toma corrientes.
  - Luces.
  - Tubería eléctrica.

El costo total de todas las tareas anteriores es de ¢18 500 000 + I.V.A donde incluye la mano de obra y los materiales. Dicho precio puede variar en dependencia de cuándo se desea realizar la ampliación.

## Conclusiones

Por medio del ensayo de trazadores se verifico el funcionamiento hidráulico que se presenta en los procesos a los cuales se les pudo examinar, dentro de estos se pudo analizar el proceso de floculación/sedimentación y la de los filtros; dicho ensayo determinó que el floculador/sedimentador posee flujo pistón y flujo mezclado, este no presenta cortos circuitos ni tampoco presenta espacios muertos, además se determinó el tiempo de retención real y teórico que se manejan en el proceso, lo cual nos mostró datos diferentes, esto quiere decir que el tiempo de retención en el proceso puede disminuirse para obtener datos más acertados, en el caso del proceso de filtración por medio del ensayo de trazadores se determinó que posee flujo pistón y flujo mezclado, no presenta cortos circuitos además de no mostrar espacios muertos; en este proceso los tiempos de retención fueron diferentes esto muestra que los datos pueden obtenerse de manera más acertada con el tiempo real. En el proceso de filtración se evaluó la calidad del filtrado inicial donde se determinó de acuerdo con los gráficos obtenidos de las muestras donde el dato más alto se encuentra dentro de los rangos aceptables según el Reglamento de la Calidad del agua y en el proceso de duración de lavado que se realizó analizando la curva se determina que conforme pasa el tiempo la turbiedad va disminuyendo conforme se va limpiando la arena, el ideal es de 6 a 7 minutos esto debido a que las turbiedades que manejan están dentro de las normas y en el proceso de cloración se realizó el ensayo de dosis óptima de cloración donde se obtuvo el punto de quiebre el cual nos indica que el agua de la planta se encuentra de la mejor forma además de que los procesos están realizando bien la función, además de que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

Dentro de la evaluación que se realizó a los datos que posee la planta, se revisa y verifica cada uno de los datos, los cuales se determina que la turbiedad de salida y la cloración que maneja actualmente se encuentra dentro de los parámetros de la calidad del agua, además se observa que en época lluviosa el caudal es mayor al cual fue diseñada la planta además de que las turbiedades aumentan y es por esto que la planta deja de funcionar.

La planta potabilizadora actualmente se ha encontrado en constantes reparaciones debido a que en la zona manejan mucho riesgo en cuando a cabezas de agua, esto ha provocado que la

planta deje de funcionar dañando el proceso de captación de agua y los procesos siguientes, afectando directamente a la población que está siendo abastecida por este suministro. La tecnología que maneja actualmente la planta es un poco ambigua, donde se muestra que varios procesos es imposible poderlos analizar y esto afecta el mantenimiento de cada uno de ellos.

La planta al encontrarse en una zona de riesgo es necesario poder realizar un análisis más efectivo de la zona y conocer la viabilidad del proyecto, conocer si es viable o no y ver las posibilidades de mejora.

Realizando cada uno de los procesos anteriores, además de los datos obtenidos de los registros puestos por los operadores de la planta verificando con el reglamento el agua que se está distribuyendo en la zona es de la mejor calidad para el ser humano según el Reglamento de la calidad del agua.

Se propone un presupuesto general acerca de la mejora de poder ampliar la zona administrativa y del proceso de cloración, cabe destacar que dicho presupuesto toma en cuenta un área de laboratorio el cual es de suma importancia en la zona para poder realizar este tipo de evaluaciones constantemente, además de mejorar el área de cloración del agua ya que no cuenta con lo establecido por el manual del CEPIS y se toma en cuenta un área administrativa el cual cuenta con una oficina para que los operadores puedan realizar los informes diarios además de una cocina para que puedan tener un área social y puedan estar de la mejor forma.

Se propone un prediseño hidráulico y sanitario del desarenador requerido en el tratamiento de las aguas crudas, actualmente en la planta no se cuenta con un desarenador, el cual es muy importante para el tratamiento de las aguas superficiales. En este se muestra un diseño básico sin tomar en cuenta un análisis estructural, presupuesto, análisis de riesgo y análisis topográfico.



## Recomendaciones

Realizar mejoras en el proceso de inyección de coagulante para la coagulación y floculación, mezclador estático y prefiltros. Estos procesos anteriormente mencionados en la actualidad no están funcionando en la planta, según mencionan los operarios a la hora de inyectar el coagulante el mezclador estático no está cumpliendo con la función de mezclar el sulfato de aluminio con el agua, lo que está provocando que el coagulante no elimine la máxima suspensión de sólidos presentes en este proceso, ambos son de suma importancia esto debido a que el coagulante no solo elimina las partículas suspendidas en el agua cruda sino que también que también permite la eliminación de microorganismos que poseen dichas partículas. El mezclador estático se debe de realizar un cambio por completo manejando el mismo modelo para no perjudicar el resto de los procesos de la planta. En el proceso de los prefiltros actualmente se debe de cambiar la malla que realiza la función de retener partículas pequeñas que pasan del proceso de floculación/sedimentación.

Crear una forma digital para el registros de los datos y que estos se puedan realizar cada hora, ya que actualmente no se están tomando los datos constantemente según la revisión que se realizó en la inspección inicial, además de que la planta aun maneja registros físicos. Cabe destacar que la planta no cuenta con ningún tipo de planos y los equipos no poseen un manual de uso, además la planta no cuenta con un presupuesto para mantenimiento. La entidad encargada deberá de realizar un presupuesto para los mantenimiento preventivos que se le deben de realizar a cada uno de los procesos además deberá de realizar planos para poder tener una mejor perspectiva de la zona.

Realizar un análisis de riesgo en la zona, ya que actualmente se ha estado en constante derrumbes en la zona, provocando daños directos en la planta potabilizadora, uno de los daños constantes en la captación de agua que ha sido construida varias veces.

Crear un laboratorio en la planta potabilizadora, esto con el fin de poder hacer las evaluaciones en sitio, realizarlas constantemente y puedan tener un espacio adecuado para las mismas. Además, se propone una remodelación en el área administrativa donde los operadores

puedan tener un espacio de trabajo adecuado además de un lugar donde puedan tener su espacio para la alimentación.

Crear un desarenador esto debido a que actualmente la planta no posee uno y es de suma importancia para que no se vean afectados el resto de los procesos.

Realizar un mantenimiento periódico a cada una de las estructuras de la planta, esto debido a que desde que la planta fue creada no se ha realizado ningún mantenimiento a la misma.

Cambiar el lecho filtrante que posee los filtros esto debido a que desde que la planta entró en funcionamiento solamente se cambió 4 filtros y no los 16 que componen este proceso, cambiar los tres tipos de medios filtrantes presentes (antracita, basalto y arena).

Realizar una independización de cada uno de los procesos, esto debido a que en el floculador/sedimentador al no poderse abrir no se pudo realizar varios ensayos, al igual que el proceso de filtración, poder independizar cada uno de ellos para que cuando se realice la evaluación se pueda hacer de manera independiente.

## Bibliografía

- Agua, C. N. (2007). *DISEÑO DE PLANTAS POTABILIZADORAS TIPO DE TECNOLOGÍA SIMPLIFICADA* . Coyoacán: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- IDROVO, C. (2009-2010). *OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UCHUPUCUN* . Cuenca: Universidad de Cuenca.
- N/A. (2005). *Evaluacion de plantas de tecnologia apropiada*. Lima: OPS.
- N/A. (22 de mayo de 2015). *loshijosdegudinio*. Obtenido de <https://loshijosdegudinio.wordpress.com/2015/05/22/floculacion/>
- OPS. (2005). *GUIA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES*. LIMA: Organizacion Panamericana de la Salud.
- Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Mexico: ALFAOMEGA .
- Salud, P. d. (2015). DECRETO EJECUTIVO No 38924-S. *Reglamento para la calidad del Agua Potable* (pág. 4). San Jose: PGR.
- Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtracion rápida*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Yamit ELI. (2008). *Planta de tratamiento de agua Jaco (216m<sup>3</sup>/h)*. Jaco: Yamit ELI.
- CEPIS/OPS (2005). *Tratamiento de agua para consume humano plantas de filtración rápida*. (Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada). Perú. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del Ambiente.
- Inec. (2011). *Censos 2011.Inec Costa Rica*. Web [Censos 2011 | INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS \(inec.cr\)](http://Censos2011.INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS (inec.cr))
- Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados (2018)*.(Informe de gestión 2014-2018).Costa Rica. AyA web [Informe final de Gestión AyA 2014 2018.pdf](http://Informe final de Gestión AyA 2014 2018.pdf) Informe de gestión (2014-2018)

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

(Romero, 1999) Romero, J. A. (1997). *Calidad del agua (2 edición)*. Escuela Colombiana de ingeniería

## Anexos



Ilustración 19 Proceso de Coagulación (mezclador estático)

Fuente: Planta de tratamiento de Jacó.



Ilustración 20 Proceso de Cloración

Fuente: Planta de tratamiento de Jacó.



Ilustración 21 Proceso de Prefiltración.

Fuente: Planta de tratamiento de Jacó.



Ilustración 22 Proceso de Filtración

Fuente: Planta de tratamiento de Jacó.





Ilustración 23 Proceso de Floculación-Sedimentación

Fuente: Planta de tratamiento de Jacó.



Ilustración 24 Planta Potabilizadora de Israel

Fuente: Pagina de YAMIT ELI

**Tabla 28.** *Densidad y Viscosidad del agua*

Temperatura °C	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad Cinemática
0	0.99987	1.7923
1	0.99993	1.7321
2	0.99997	1.6741
3	0.99999	1.6193
4	1.00000	1.5676
5	0.99999	1.5188
6	0.99997	1.4726
7	0.99993	1.4288
8	0.99988	1.3874
9	0.99981	1.3479
10	0.99973	1.3101
11	0.99963	1.2740
12	0.99952	1.2396
13	0.99940	1.2068
14	0.99927	1.1756
15	0.99913	1.1457
16	0.99897	1.1168
17	0.99880	1.0888
18	0.99862	1.0618
19	0.99843	1.0356
20	0.99823	1.0105
21	0.99802	0.9863
22	0.99780	0.9629
23	0.99757	0.9403
24	0.99733	0.9186
25	0.99707	0.8975
26	0.99681	0.8774



27	0.99654	0.8581
28	0.99626	0.8394
29	0.99597	0.8214
30	0.99568	0.8039
31	0.99537	0.7870
32	0.99505	0.7708
33	0.99473	0.7551
34	0.99440	0.7398
35	0.99406	0.7251
36	0.99371	0.7109
37	0.99336	0.6971
38	0.99299	0.6839
39	0.99262	0.6711

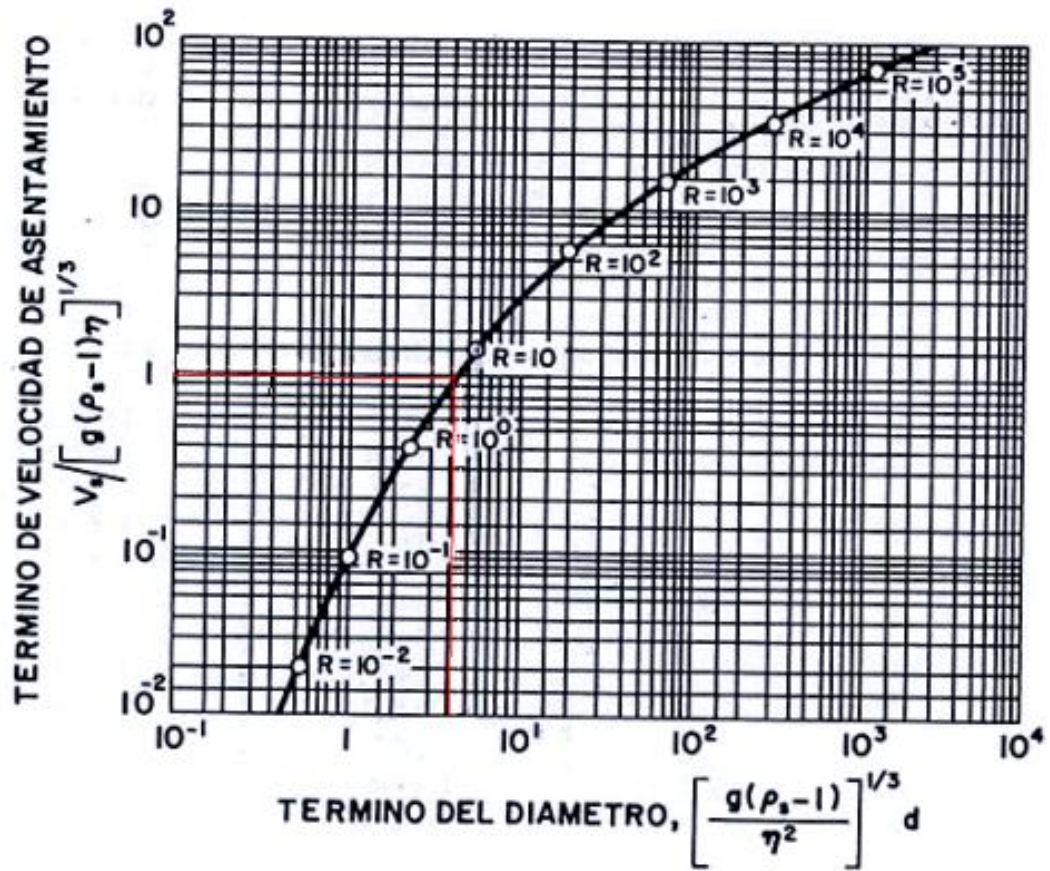


Ilustración 25. Valores de sedimentación.

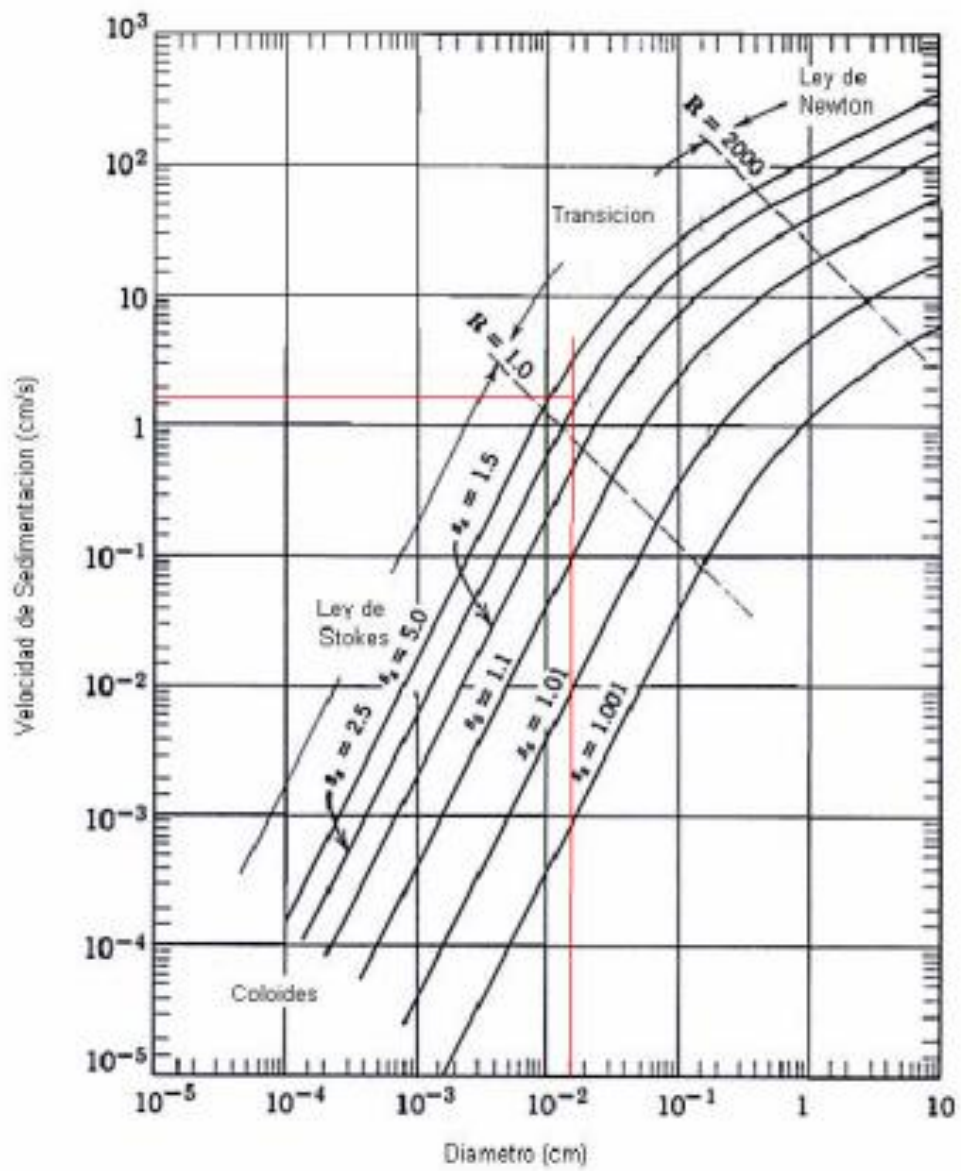


Ilustración 26. Valores de Sedimentación

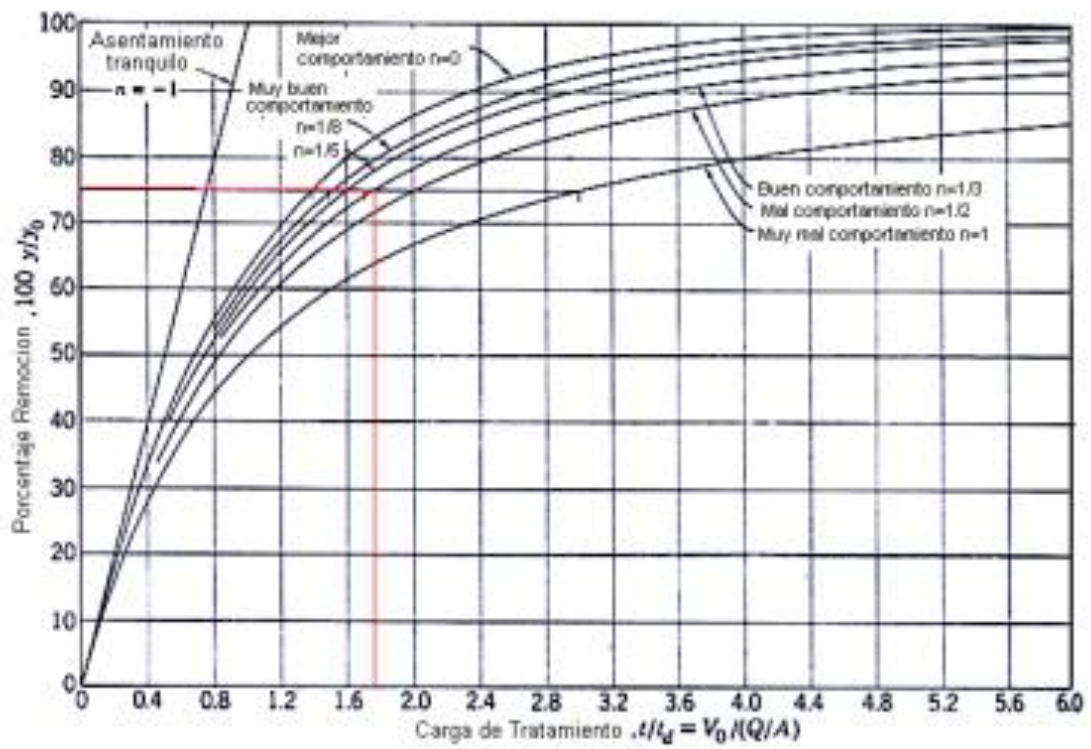


Ilustración 27. Curvas de Comportamiento

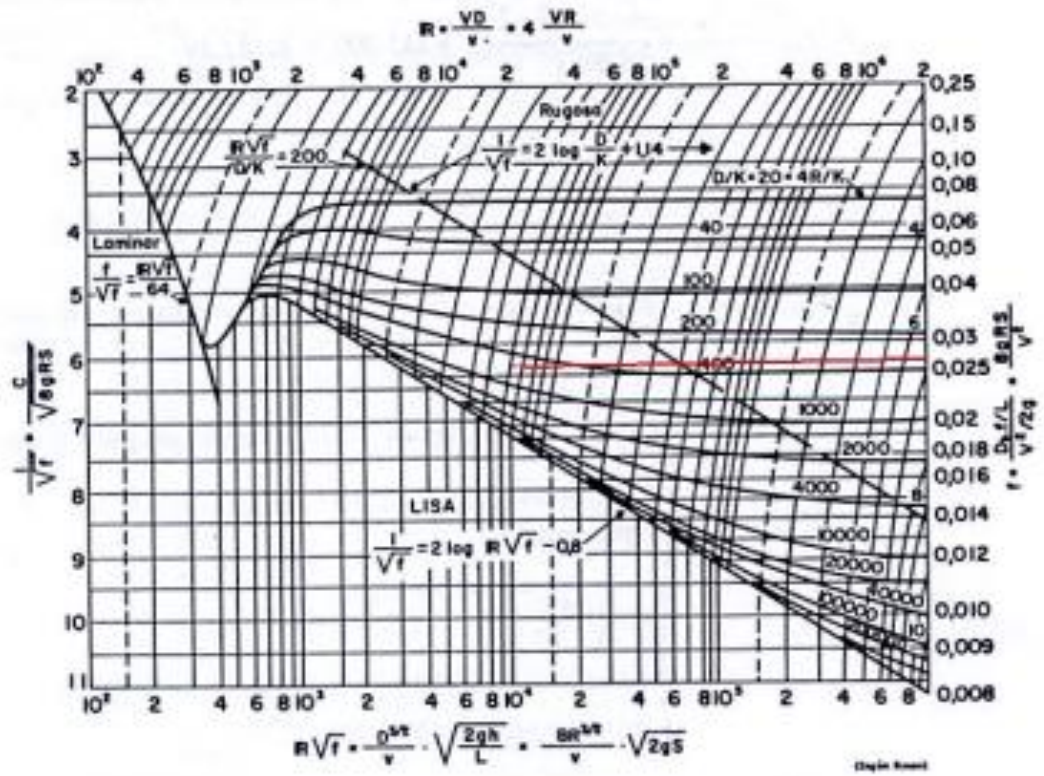


Ilustración 28. Resistencia de Corrientes

**ANEXO A**  
**Ficha técnica para la inspección inicial (2)**

Fecha 8/3/2021

**A. UBICACIÓN**

1. País: Costa Rica
2. Nombre de la planta: Planta Potabilizadora de Jacó
3. Localidades abastecidas: Jacó
4. Localización:  
 Departamento: Guanacaste Provincia: Puntarenas Distrito: Jacó
5. Dirección de la planta: 5 km al norte del Maripal de Jacó
- Distancia de la capital: 99.7 km Altitud: \_\_\_\_\_ m. s. n. m.
6. Institución propietaria o administradora: AYA

**B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO**

7. Fuente de abastecimiento:
  - a) Quebrada: Pedraza
  - b) Río: \_\_\_\_\_
  - c) Lago o embalse: \_\_\_\_\_
- 7.1 Tipo de toma: presa lateral
- 7.2 Conducción de agua cruda:
  - a) Por gravedad:
  - b) Por bombeo: \_\_\_\_\_
- 7.3 Desarenador: NO cuenta
- 7.4 Presedimentador: NO cuenta
  - a) Largo: \_\_\_\_\_ m
  - b) Ancho: \_\_\_\_\_ m
  - c) Área: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>
  - d) Carga superficial: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

**C. CALIDAD DE LA FUENTE**

Solicitar información de calidad del agua cruda de los archivos de la planta de por lo menos un año. Básicamente, promedios mensuales de turbiedad, color,



pH, alcalinidad, número más probable (NMP) de coliformes termotolerantes y también promedios diarios de turbiedad del mes más lluvioso y del mes más seco del año.

#### D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

8. Caudal de la planta

8.1 Caudal de proyecto: 60 (500) L/s

8.2 Caudal mínimo con el que opera la planta: 60 L/s

Indique los meses del año o situaciones en que se da esta condición:

Mayo a Enero

8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta: 30 L/s

Indique los meses del año o las situaciones en que se da esta condición:

Febrero a Abril

9. Tipo de planta: filtración rápida

a) Patente: paquete

b) Convencional clásica: -

c) Tipo CEPIS/OPS: -

Año en que se diseñó: 2006

Año en que se remodeló/amplió/optimizó: N/A

10. Descripción:

10.1 Medidor de caudal: 5 Tipo: Digital

10.2 Mezcla rápida Tipo: Estático Punto de aplicación: Header

10.3 Floculadores / Sedimentador:

a) Tipo: Hidrociclón (Hidrociclón)

b) Número de unidades: 1

c) Número de tramos: 1

d) Profundidad útil: 2 m

e) Largo: - m

f) Ancho: - m

Diámetro = 4 m  
Área = 12,57 m<sup>2</sup>  
Volumen = 100,56 m<sup>3</sup>

10.4 Decantadores

Tipo I

a) Tipo: N/A

b) Número de unidades: -

c) Área de cada unidad: - m<sup>2</sup>

Tipo 2

- a) Tipo N/A
- b) N° de unidades \_\_\_\_\_
- c) Área de cada unidad \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Rehileros → Dientes externos  
 $D = 27 \text{ cm}$   
 $L = 1,92 \text{ m}$   
 $A = 0,057 \text{ m}^2$   
 $V = 0,11 \text{ m}^3$

10.5 Filtros

- a) Tipo de filtro: tasa constante \_\_\_\_\_ Tasa declinante
- b) N° de unidades 10
- c) Tipo de lecho filtrante: simple \_\_\_\_\_ doble
- d) Área de cada filtro 1,13 m<sup>2</sup>

altura = 1,6 m

Diámetro = 1,2 m  
 Volumen = 1,10 m<sup>3</sup>

10.6 Dosificación

- a) Coagulante \_\_\_\_\_ Tipo de dosificador \_\_\_\_\_ Número 1
- b) Polímero \_\_\_\_\_ Tipo de dosificador \_\_\_\_\_ Número \_\_\_\_\_
- c) Cal \_\_\_\_\_ Tipo de dosificador \_\_\_\_\_ Número \_\_\_\_\_
- d) Cloro  Tipo de dosificador por sonda Número 1

→ Nota: No se está utilizando en este momento

E. OBSERVACIONES

Indicar aquí cualquier situación extraordinaria observada en la planta.

Rehileros → Tipo = Mallas helicoidales • Área por unidad = 840 cm<sup>2</sup>  
 • Cantidad = 2

F. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

Se efectuará sobre la base de todo lo observado y la información procesada y se indicará cuáles son los procesos más críticos cuyas unidades requieren ser evaluadas con profundidad para determinar el origen de los problemas.







*Ilustración 29. Ensayo de calidad del proceso de lavado*



*Ilustración 30. Ensayo de dosis optima de cloro*



*Ilustración 31. Ensayo de duración del proceso de lavado*





*Ilustración 32. Ensayo de trazadores de floculador/sedimentador*

## Glosario

- Agente esterilizante: Es aquel capaz de destruir completamente todos los organismos (patógenos o no).
- Agua apta para la ingesta: Agua que no causa ningún daño en la salud al ser ingerida por la población, y que sus características organolépticas no generan rechazo por parte de los consumidores.
- Agua potable: Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el Decreto Ejecutivo 38924-S y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud.
- Bactericida: Agente capaz de inactivar las bacterias.
- Cisticida: Agente que tiene la capacidad de inactivar los quistes
- Coloides: Partículas muy pequeñas de 10 a 1000 Angstrom, que no se sedimentan si no son coaguladas previamente.
- Criterio de experto: Juicio de profesionales que trabajen con análisis físico-químicos, microbiológicos y biológicos del agua para consumo humano, que se basa en experiencia, datos históricos y conocimiento científico.
- Desarenador: Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.
- Desinfectante: Es el agente que inactiva los gérmenes patógenos.
- EPA: Agencia de Protección Ambiental, protege la salud de los seres humanos, el medio ambiente y los recursos naturales. Previene y controla la contaminación del aire y el agua mediante el desarrollo de estándares para la calidad del aire y las emisiones de automóviles, programas para asegurar la limpieza del agua e información sobre la salud ambiental.
- mL: mililitro.

- OMS: Organización Mundial de la Salud, es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas. Es la organización responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.
- Parámetros de significado para la salud: Pueden ocasionar daño a la salud de los consumidores o indican la presencia de riesgo para la salud.
- Parámetros estéticos del agua: Influyen en las propiedades organolépticas del agua, pero que no repercuten en la salud de los consumidores, a las concentraciones normalmente reportadas en el agua.
- Parámetros indicadores de contaminación: Indican una posible contaminación, pero por sí mismos no resultan dañinos para la salud.
- Parámetros operativos: Permiten el monitoreo y control de calidad del agua para la potabilización de la misma.
- Partícula discreta: Partícula que no cambia de características durante la caída.
- Partículas: Sólidos de tamaño lo suficientemente grande para poder ser eliminados por una filtración.
- PGR: Procuraduría General de la República, es el órgano superior consultivo, técnico jurídico, de la Administración Pública, y el representante legal del Estado en las materias propias de su competencia.
- SCIJ: Sistema Costarricense de Información Jurídica, forma parte del proyecto de Informática Jurídica del Programa de Modernización de la Administración de Justicia, desarrollado a través del contrato de préstamo 859/OC-CR entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el gobierno de la República de Costa Rica.
- Sedimentación simple: Proceso de depósito de partículas discretas.
- Sedimentación: Proceso de depósito y asentamiento por gravedad de la materia en suspensión en el agua.
- Sedimentador o Decantador: Dispositivo usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua.

- Sedimentos: Materiales procedentes de la sedimentación.
- Sólidos decantables o sedimentables: Fracción del total de sólidos en el agua que se separan de la misma por acción de la gravedad, durante un periodo determinado.
- Turbiedad: Claridad relativa del agua que depende, en parte, de los materiales en suspensión en el agua.
- UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad, es la unidad en la que se mide la turbiedad de un fluido o la presencia de partículas en suspensión en el agua, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez.
- Vertedero Sutro: Dispositivo de control de velocidad