



# POSGRADOS

---

## MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON MENCIÓN EN GESTIÓN E INGENIERÍA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

RPC-SE-03-NO.041-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

INFORMES DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE  
FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO “PALUGUILLO”

AUTOR(ES)

ROBERTO CARLOS PILLAJO CORREA

DIRECTOR:

CHARLES JIM CACHIPUENDO ULCUANGO

QUITO – ECUADOR  
2022

**Autor(es):**

Roberto Carlos Pillajo Correa  
Ingeniero Civil

Candidato a Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Gestión e Ingeniería de Agua Potable y Saneamiento por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

rpillajo@live.com

**Dirigido por:**

María Gabriela Soria Pugo  
Ingeniera Civil

Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Gestión y Manejo Ambiental de Agua

msoria@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO | ECUADOR – SUDAMÉRICA

**Roberto Carlos Pillajo Correa** |

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
"PALUGUILLO"

## **DEDICATORIA**

Mi tesis la dedico con mucho amor y cariño a mi pequeña familia, mi esposa Patricia, Joseph y Janine mis amados hijos los cuales siempre me han motivado y ayudado en las clases y trabajos, son mi gran inspiración para poder seguir adelante en el trabajo y superarme día a día, así poder ser un buen ejemplo para mis futuras generaciones.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios.**

Por darme cada día el despertar para poder seguir adelante, por sus bendiciones en todos los campos de mi vida, por el trabajo que nos da para poder costear los estudios de toda mi familia.

### **A mis Padres.**

A mis padres un sincero agradecimiento por ser el ejemplo de lucha continua, por ser siempre mi gran apoyo, a mi bella madre Rosa que con sus ojos me ha guiado por un buen camino, mi padre Fausto por su gran esfuerzo en el trabajo para darme el mejor ejemplo de superación.

### **A mi Esposa e Hijos.**

Ellos que son mi gran inspiración por los que cada día me levanto a seguir luchando y superándome, ellos que me han acompañado varias noches al hacer los deberes, me han brindado un vaso de agua para continuar adelante.

# TABLA DE CONTENIDO

---

Resumen.....	9
Abstract .....	10
1. Introducción.....	11
2. Determinación del Problema .....	12
3. Marco teórico referencial .....	14
3.1 Descripción general de la planta de tratamiento .....	16
3.1.1 Introducción .....	16
3.1.2 Descripción general.....	16
3.1.3 Planta de Paluguillo .....	18
3.1.4 Componentes de la planta.....	18
3.2 Determinación de medidas geométricas de los floculadores .....	21
3.2.1 Levantamiento y comparación de los floculadores .....	21
3.3 Aspectos administrativos e institucionales.....	22
3.3.1 Administración Institucional.....	22
3.3.2 Cronograma Institucional .....	22
4. Materiales y metodología .....	23
4.1 ANALISIS ESTADISTICO DE LA CALIDAD FISICO-QUIMICA Y BACTERIOLOGICA DEL AGUA CRUDA Y TRATADA .....	23
4.1.1 Método descriptivo .....	23
4.1.2 Análisis estadísticos de la calidad del agua cruda obtenida en los periodos establecidos .....	23
4.1.3 Estadísticas básicas.....	24
4.1.4 Análisis de la calidad de agua tratada en los años de evaluación de la PTP 24	
4.2 ANALISIS DE TRATABILIDAD DEL AGUA .....	24
4.2.1 Consideraciones Generales para la Realización de los Ensayos .....	25
4.2.2 Dosis óptima de coagulante .....	26
4.3 DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA .....	28
4.3.1 Ensayo con Trazadores .....	29

4.3.2	Limitaciones de las Pruebas con Trazadores: .....	30
4.3.3	Prueba de Trazadores.....	30
5.	Resultados y discusión .....	32
Anexos Capitulo 4.1	RESULTADOS ANALISIS ESTADISTICOS .....	32
Anexos Capitulo 4.2	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	46
Anexos Capitulo 4.3	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON TRAZADORES .....	52
5.1	Diseño de los floculadores.....	55
6.	Conclusiones .....	58
	Referencias .....	60
	Anexos .....	60
	Planos del sistema de floculación .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> <i>Tabla de transiciones</i> .....	24
<b>Tabla 2.</b> <i>INDICE DE WILLCOMB</i> .....	25
<b>Tabla 11.</b> <i>Turbiedad Agua Cruda 2021 (NTU)</i> .....	41
<b>Tabla 12.</b> <i>Turbiedad Agua Cruda año 2021</i> .....	42
<b>Tabla 13.</b> <i>Color Agua Cruda año 2021 UC (Pt - Co)</i> .....	43
<b>Tabla 14.</b> <i>Color Agua Cruda ESTADÍSTICAS BÁSICAS 2021</i> .....	44
<b>Tabla 15.</b> <i>Turbiedad agua cruda 2018 – 2021. Remoción.</i> .....	45

# EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO

AUTOR(ES):

ROBERTO CARLOS PILLAJO CORREA



# RESUMEN

El presente trabajo desarrollado en la Planta de Tratamiento “Paluguillo”, ubicada en el nororiente de la Ciudad de Quito, Provincia de Pichincha, está encaminado a evaluar el Sistema de Floculación de dicha planta, la cual presenta problemas para procesar más de 530 l/s dicha planta está diseñada para procesar 600 l/s, la planta de tipo convencional con procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, y desinfección. Capta el agua cruda proveniente del sistema de Aducción Papallacta. Como parte del estudio de la planta se realiza un análisis estadístico con los datos de color y turbiedad, recopilados de los archivos de la Planta del año 2018 hasta el 2021, para determinar la probabilidad de ocurrencia.

La finalidad de este trabajo es determinar el funcionamiento hidráulico del sistema de floculación, la prueba se lo realiza con la ayuda de trazadores, donde se evalúa: el tipo de flujo que se presenta en cada unidad, zonas muertas, cortocircuitos y el tiempo de retención.

Los resultados de esta evaluación del sistema de tratamiento, servirá como información para decidir cuáles son las mejoras posibles de la eficiencia del sistema y realizar un proyecto de mejoramiento de los floculadores de la Planta de Tratamiento.

**Palabras clave:**

PALUGUILLO; PLANTA CONVENCIONAL; PAPALLACTA; TURBIEDAD; ANÁLISIS ESTADÍSTICO; TRAZADORES; CONCLUSIONES; RECOMENDACIONES.

# ABSTRACT

---

This work developed at the "Palugillo" treatment plant, located in the city of Quito, Pichincha province, aims to evaluate the purification system of the plant, which presents problems to process more than 530 l/s said plant is designed to process 600 l/s, the conventional type plant with rapid mixing, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection processes. It captures the raw water adduction Papallacta system. As part of the study of the plant is performed a statistical analysis with the data of color and turbidity, collected from the archives of the plant of the year 2018 to 2021, to determine the probability of occurrence.

The purpose of this work is to determine the hydraulic performance of treatment units: fast mixing, flocculation and settler, the test is it performed with the help of tracers, where is evaluated: the type of flow that occurs in each unit, dead zones, and shorts.

The results of this evaluation of the treatment system, will serve as information to decide what improvements are possible the efficiency of the system and carry out a project of improvement of the treatment plant.

## **KEY WORDS:**

PALUGUILLO; PLANT CONVENTIONAL; PAPALLACTA; TURBIDITY; STATISTICAL ANALYSIS; LINERS; CONCLUSIONS; RECOMMENDATIONS. |

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El documento es realizado con el fin de evaluar y diagnosticar el sistema de floculación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Paluguillo (PTAPP) ubicada en la parroquia de Pifo, distrito metropolitano de Quito, identificar cuáles son los problemas que impiden su debido funcionamiento, para esto se analizara el funcionamiento y comportamiento hidráulico de cada una de sus partes que la conforman el sistema de floculación, teniendo en cuenta que el solo hecho de que un sistema de abastecimiento de agua se encuentre bien concebido y sus elementos estén claramente definidos, no es garantía de la efectividad de su funcionamiento.

Con el desarrollo social y económico que se viene presentando en el sector de Tumbaco y Tababela es importante contar con un conjunto de estructuras optimas que permitan el abastecimiento de agua potable a los ciudadanos, razón por la que se implementan en los planes de desarrollo programas y proyectos para el sector de agua potable y saneamiento.

El objetivo de una planta de tratamiento, es determinar el funcionamiento hidráulico del sistema de floculación, la relación que existe entre el sistema de floculación con el paso del floc hacia los sedimentadores.

Para la ejecución del proyecto y los estudios de diseños necesarios, se realizará la prueba con ayuda de trazadores, donde se evalúa: el tipo de flujo que presenta cada unidad, zonas muertas, cortocircuitos y el tiempo de retención.

Los resultados de esta evaluación del sistema de floculación, servirá como información para decidir que mejoras implementar para una mejor eficiencia del sistema de floculación de la Planta de Tratamiento Paluguillo.

## 2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Las parroquias de Tumbaco y Tababela contaban con una serie de plantas paquete de tratamiento de agua potable, las cuales por su conformación no abastecían la demanda de la población, creando así la necesidad de implementar infraestructura adecuada para garantizar la prestación del servicio apropiado y oportuno. La EPMAPS construyó la Planta de tratamiento de agua potable Paluguillo con una capacidad de 600 l/s.

“Actualmente la planta de tratamiento de agua potable Paluguillo se encuentra en funcionamiento y hasta el momento ha prestado el servicio sin contratiempos, se encuentra ubicada en una de las zonas más altas del nororiente de Quito y tiene un área aproximada de 20.000 metros cuadrados, conformada por las siguientes estructuras hidráulicas: la entrada de agua se hace a través de una tubería de diámetro de 24 pulgadas, la cual proviene de la recuperadora de energía de Paluguillo y a simple vista esta no presenta mayores factores de contaminación, esta continua su recorrido por el canal de ingreso, se puede resaltar que por las características que presenta el agua captada se aplica floculante en este punto; continua su recorrido a través del floculador hidráulico horizontal de pantallas en concreto, sedimentador de alta tasa tipo colmena, filtros, cámara de contacto y finalmente se conecta a los tanques de almacenamiento” (Pillajo, 2017, pág. 23)

La PTAP cuenta con un macro medidor ubicado en la captación del agua y dos macro medidores que fueron instalados en su construcción ubicados a la salida del tanque de distribución, los que permiten controlar el volumen de agua entregado a las líneas de Tumbaco y Tababela. La planta cuenta con un laboratorio en donde se revisa la calidad del agua con el test de jarras.

## -Objetivos

### Objetivo general

Determinar el funcionamiento hidráulico del Sistema de Floculación, la relación que existe entre el sistema de floculación con el paso del floc hacia los sedimentadores, mediante el uso de trazadores, donde se evalúa: el tipo de flujo que presenta cada unidad, zonas muertas, cortocircuitos, el tiempo de retención y la gradiente de velocidad, así analizar las condiciones actuales de los floculadores de la Planta de Paluguillo

### Objetivos específicos

1. Caracterizar el Sistema de Floculación
2. Analizar las falencias de los floculadores para no formar un buen floc.
3. Plantear el rediseño para un funcionamiento eficiente.

## 3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

#### CONVENCIONALES:

Es un sistema de tratamiento integrado que incluye todos los procesos para la obtención de agua potable, como los son: mezcla rápida, floculación, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección. Dependiendo de las características del agua podemos obtener un sistema de filtración simple o doble el cual es recomendable cuando el agua tiene alto color o contenidos altos de hierro y manganeso. Cada planta se debe diseñar de acuerdo al análisis de agua y trazabilidad y se debe hacer con sistema modular que incorpore las etapas del tratamiento. Estas deben tener su tanque en acero o fibra de vidrio y contener lechos filtrantes para la grava, arena, antracita, carbón activado y/o resinas especializadas. Si el agua tiene alto contenido de hierro se requiere un tratamiento de oxidación previo hecho mediante torres de aireación o pre-cloración. (Pillajo, 2017)

#### COMPACTAS:

La planta modular es un sistema integrado de tratamientos en varias etapas que incluye todos los procesos requeridos para obtener agua potable. Ocupan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente añadiendo módulos de clarificación y de filtración. Adecuadas para: aguas de pozo profundo con alto contenido de color, hierro y manganeso; y muy eficientes con aguas de quebradas de montaña con parámetros que van de mediano a bajo contenido de sólidos en suspensión (SST) y con contenidos de color, que presentan picos pasajeros de alta turbiedad y color cuando hay lluvias fuertes. De acuerdo con las características del agua a tratar, se incorpora procesos de pre aireación y oxidación, arenas especiales para eliminar hierro y manganeso o post tratamiento con carbón activado cuando hay elementos orgánicos (Burgos, 2018, Pág. 26)

## PROCESOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

### TRATAMIENTO PRINCIPAL

**Aireación:** Dispositivo o equipo que permite transferir aire al agua.

**Floculación:** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

**Coagulación:** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

**Sedimentación:** Decantación. Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua o partículas floculadas se separan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

**Ablandamiento:** Remoción de la dureza (calcio y/o magnesio) del agua.

**Filtración:** Proceso mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

**Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

**Cloración:** Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

**Cloro residual:** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado analizada en el cálculo de la acción de control por aplicar.

**Número de Froude:** Relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad.

$$Fr = \frac{v^2}{L \times g}$$

Donde V es la velocidad,

L es la longitud característica y

g la constante de la gravedad.

**Número de Reynolds:** Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

$$Re = \frac{\rho \times V \times L}{\mu}$$

Donde  $\rho$  es densidad,

V velocidad,

L longitud característica y

$\mu$  viscosidad absoluta del agua.

### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

#### 3.1.1 Introducción

La Planta de Tratamiento de Paluguillo fue puesta en marcha por la EPMAPS – Quito en el año de 2012 para abastecer la demanda de agua potable de las Parroquias de Tumbaco y Tababela, se encuentra ubicada en el nororiente de Quito barrio La Virginia, cuya cota es 3.108 msnm, captando agua cruda del Sistema de aducción Papallacta (Burgos, 2018)

El diseño contempla un sistema convencional de tratamiento de 600 l/s, la cual consta con los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

#### 3.1.2 Descripción general

##### 3.1.2.1 Sistema de aducción Papallacta

La mayor cantidad de agua que entra en el sistema Papallacta proviene de afluentes de los ríos orientales, captándose un caudal promedio de 3000 l/s. Adicional a esto se regula el caudal por medio de la estación recuperadora de Paluguillo. La aducción tiene una longitud total de 22 kilómetros aproximadamente.

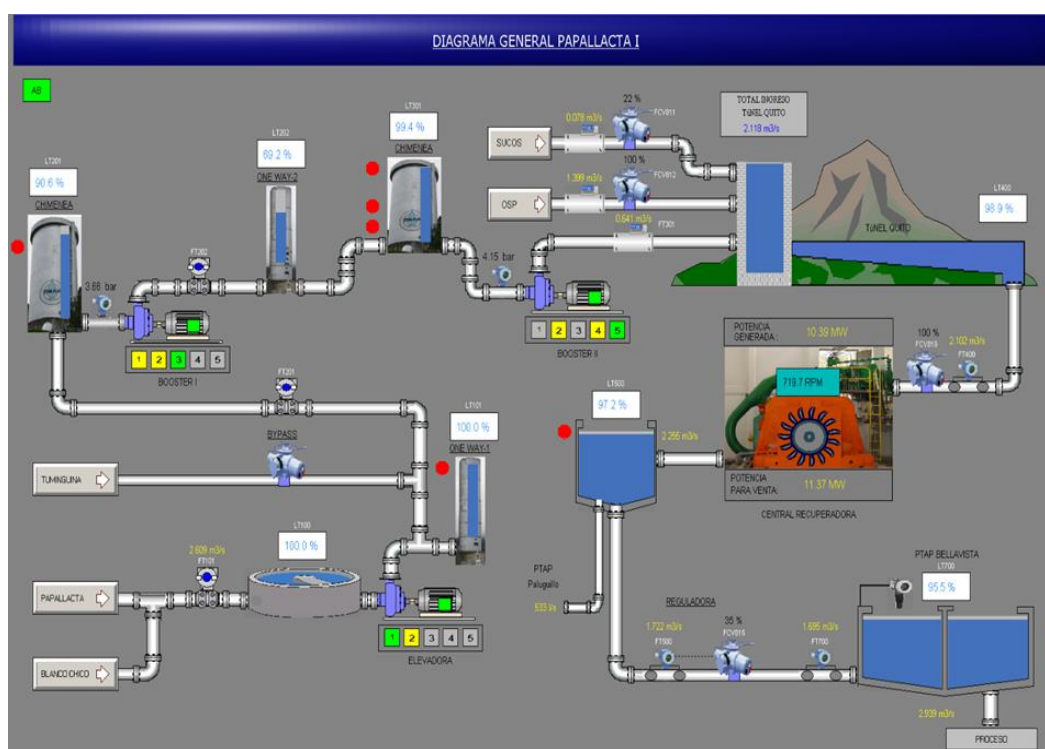
El sistema Papallacta se divide en dos frentes de trabajo.

1. Proyecto Papallacta, está formado por tres estaciones, río PAPALLACTA, BLANCO CHICO y TUMINGUNA, todo el caudal llega a la estación elevadora pasa por la booster 1 continua hacia la booster 2 llegando a la entrada del túnel QUITO, luego por gravedad se dirige hacia la recuperadora de Paluguillo la cual distribuye el caudal hacia Bellavista y Paluguillo, toda la conducción lo hace mediante tubería de acero.



- Optimización, está formado por las estaciones de SALVE FACCHA, MOGOTES Y SUCOS, todo el caudal llega hacia el túnel Quito y se dirige hacia la recuperadora de Paluguillo, este sistema funciona a gravedad.

**Figura 3-1.** Esquema de aducción Papallacta



Fuente: EPMAPS

### 3.1.2.2 Aducción Paluguillo

El proyecto Paluguillo está formado por una serie de bombas en la Estación Elevadora y en cada Booster hasta llegar a la entrada del túnel Quito, luego es Sistema trabaja a gravedad.

#### Estación elevadora

Si el terreno y la gravedad no cooperan, entonces se deberán hacer adiciones en forma de estaciones de bombeo que sostendrán una bomba sumergible o bomba elevadora para asegurar que el agua cruda, lleguen a donde se las va potabilizar, esta estación elevadora está ubicada en la represa Papallacta

## **Booster**

El Sistema de aducción Papallacta está conformado por dos Booster las cuales son un refuerzo para que el agua gane las alturas y logre llegar hacia la entrada al túnel Quito, cada Booster está formado por 5 bombas, las cuales trabajan alternadamente.

## **Estación Recuperadora de Paluguillo**

En dicha estación se genera electricidad, luego el agua llega a la cisterna donde se distribuye hacia Bellavista con 3000 l/s y a Paluguillo con 530 l/s.

### **3.1.3 Planta de Paluguillo**

A la Planta de Tratamiento Paluguillo la denominaremos en adelante PTP. El agua cruda que ingresa a la planta proviene del Sistema de aducción Papallacta, con una capacidad de 530 l/s. En la actualidad la Planta está tratando 520 l/s – 535 l/s depende de la demanda poblacional. Consta de una mezcla rápida en la que se dosifica sulfato de aluminio líquido, pasa a la mezcla lenta, siguiendo con la floculación a través de un sistema de serpentín, para luego ir a diez sedimentadores de alta tasa, constituidos por el sistema de seditubos ABS.

El agua sedimentada pasa a la filtración la cual consta de 10 filtros, de 22.69 m<sup>2</sup> cada uno, por lo que se tiene una superficie total de filtración de 226.9 m<sup>2</sup>. Como manto filtrante se ha escogido una capa de arena de 0,30 m de espesor, con un tamaño efectivo de 0,5 mm y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,6 y una capa de antracita de 0,45 m de espesor, con un tamaño efectivo de 1,00 mm y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,6, que está de acuerdo con lo que se recomienda. El manto de soporte consiste en una capa de grava de 0,40 m de espesor, dividida en 5 subcapas con tamaños que varían entre 2,0 y 50,8 mm (tamiz N° 10 y 2”). El agua filtrada pasa a la cámara de cloración; donde se realiza la dosificación mediante cloro gas, se emplea cilindros de 907 kilogramos cada uno. Finalmente, el agua pasa al tanque de distribución.

### **3.1.4 Componentes de la planta**

#### **3.1.4.1 Estructura de entrada**

La toma de agua cruda se la efectúa en la pileta de la Estación Recuperadora de Paluguillo. Que se encuentra en la parte superior en la cota 3112 msnm, es decir por la parte alta de la planta. La estructura de toma lo conforma una tubería de acero de 24” (600 mm) de

diámetro, la cual forma un bypass directo desde el río Cariguayco para uso de emergencia en el caso de no tener caudal desde la Recuperadora de Paluguillo (Burgos, 2018)

La tubería tiene una longitud de 133 m, se controla el caudal de captación en el extremo mediante una válvula de compuerta, ubicada al inicio de la tubería de agua cruda.

#### **3.1.4.2 Conducción**

Se la efectúa mediante tubería de hierro 24" dispone de una válvula de control de caudal.

#### **3.1.4.3 Estructura de llegada**

Para disipar la energía del agua de llegada, se ha colocado una pared con 25 orificios de 250 mm de diámetro nominal y 231 mm de diámetro interno, esta estructura disminuye la turbulencia.

#### **3.1.4.4 Mezcla Rápida**

Para la mezcla rápida se ha escogido un plano inclinado de 1,50 m de longitud, 1,00 m de ancho y 0,60 m de desnivel, por lo que la pendiente es 0,4, seguido de un canal de fondo plano, de manera que el cambio de régimen de supercrítico a subcrítico produce un resalto hidráulico, que se aprovecha para realizar la mezcla del coagulante.

#### **3.1.4.5 Floculación**

La floculación o mezcla lenta es de tipo hidráulico, mediante floculadores horizontales. El proceso contempla tres zonas de floculación; una alta para gradientes de velocidad de 38 s<sup>-1</sup>, una zona media con gradientes de velocidad de 31 s<sup>-1</sup> y una zona baja con gradiente de 20 s<sup>-1</sup>. El tiempo de floculación adoptado, en concordancia con los resultados de las pruebas de tratabilidad es de 24 minutos.

La estructura lo conforma un tanque regulador diseñado con tres zonas de floculación, cada estructura tiene 2 metros de altura, con pantallas interiores en forma de serpentín de anchos variables; 0.60 metros para la primera zona, 0.68 metros para la segunda zona y 0.09 metros para la tercera zona, la estructura tiene 16.65 metros de largo y 3.85 metros de ancho, las medidas señaladas anteriormente corresponden a medidas interiores.

#### **3.1.4.6 Sedimentación**

La sedimentación está conformada por unidades de alta tasa, que trabajan con una carga superficial de 160 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, por lo que se tiene 5 sub-unidades.

Los ductos de repartición de agua sedimentada, están ubicados en las partes superiores y medias de cada unidad, el ingreso a cada unidad lo hace mediante 5 hiladas de tubos con un diámetro de 100 mm separados cada 70 cm. Con esta distribución se logra una uniformidad de reparto de caudales a todo el ancho del sedimentador (Pillajo, 2017, pág. 37)

La recolección está conformada por canales ubicados a los extremos de cada unidad y en la parte superior del nivel máximo de agua.

La zona de alta sedimentación en el diseño se conformó con seditubos de ABS, son de sección rectangular de 5.0 x 5.0 cm y con una inclinación de 60° y con una altura de .53m.

#### **3.1.4.7 Filtración**

El proceso de filtración se realiza en diez unidades de filtros rápidos descendentes, conformados por lechos de arena y grava, los filtros son de tasa declinante escalonada, que trabaja con una tasa de filtración promedio de 228 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

El control de los filtros es de tipo hidráulico mediante un vertedero general ubicado a la salida de la unidad, con esta estructura se logra mantener los filtros con una carga de agua sobre el lecho filtrante, se controla la tasa de filtración cuando el lecho filtrante está limpio y se inicia la operación de filtrado.

#### **3.1.4.8 Desinfección**

La desinfección del agua filtrada se la realiza mediante la inyección de cloro gas, el punto de inyección de cloro se ubica en la tubería de salida del agua de los filtros la cual se conecta a la cámara de contacto, luego de un tiempo de retención de 30 min el agua pasa al tanque de almacenamiento de la planta. Con la desinfección del agua obtenemos una excelente calidad bacteriológica del agua.

### 3.1.4.9 Anexos, Capítulo 3.



**FOTOGRAFIA 1.**

PRUEBA DE JARRAS REALIZADA EN LOS ENSAYOS DE TRATABILIDAD

## 3.2 DETERMINACIÓN DE MEDIDAS GEOMÉTRICAS DE LOS FLOCULADORES

### 3.2.1 Levantamiento y comparación de los floculadores

Se realizó el levantamiento planimétrico a cinta de los floculadores, se estableció la comparación entre las dimensiones de los planos de la PTP, que se encuentran en el archivo central de la EPMAPS - Quito.

El sistema de floculación está formado por dos módulos rectangulares dividido en dos secciones cada cual tiene pantallas interiores en forma de serpentín; la estructura consta de tres zonas de ancho variable: de 0.60 m para la primera zona, 0.68 m para la segunda zona y 0.90 m para la tercera zona. Sus dimensiones son: 15.65 m de largo, 3.85 m de ancho y 2 m de profundidad.

En el anexo 3-2 se presenta el plano del floculador, cuyas dimensiones fueron verificadas en la Planta.

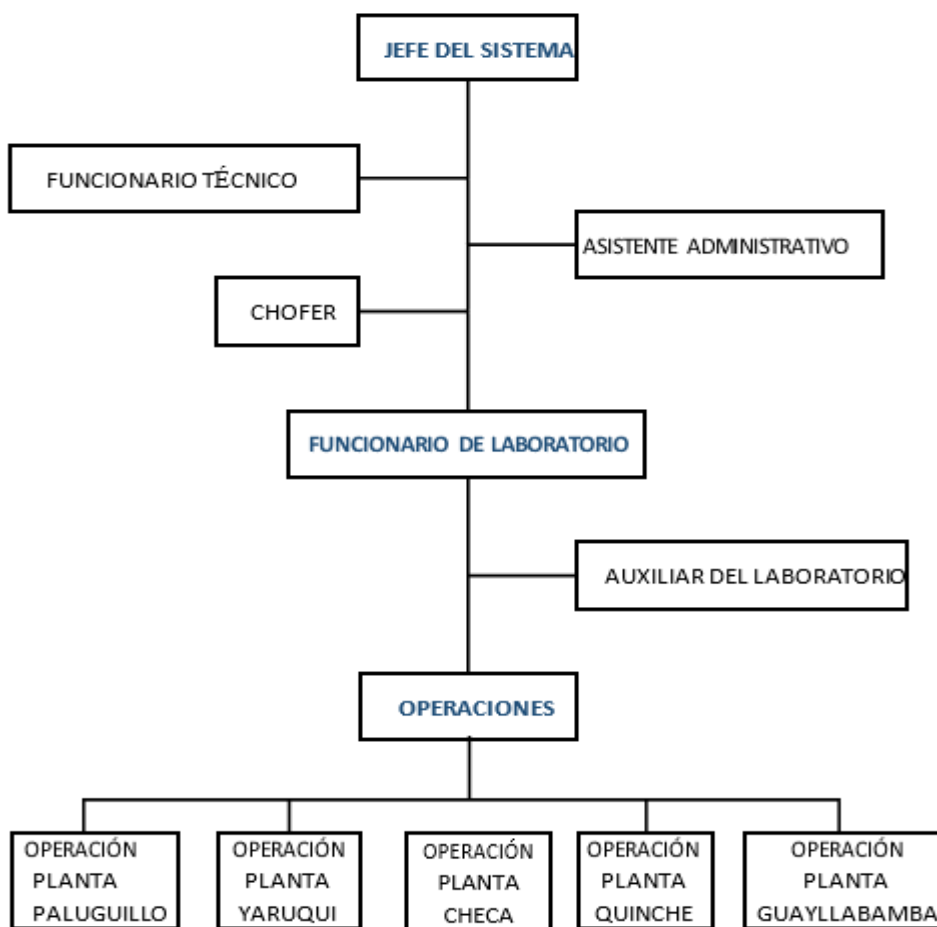
### 3.3 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS E INSTITUCIONALES

#### 3.3.1 Administración Institucional

EPMAPS – AGUA DE QUITO es la entidad municipal encargada de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, a través de todo el ciclo del agua desde la captación en las fuentes, luego al proceso de conducción, potabilización, distribución, recolección de las aguas residuales y la disposición final. (EPMAPS,2016).

#### 3.3.2 Cronograma Institucional

##### ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL UNIDAD SISTEMA EL PALUGUILLO



Elaboró: Roberto Pillajo

## 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y BACTERIOLOGICA DEL AGUA CRUDA Y TRATADA

Para realizar el análisis estadístico de la calidad bacteriológica y físico-química del agua cruda, sedimentada y tratada, se parte de una población de datos, mediante los cuales se puedan obtener resultados de la calidad de agua que ingresa a la Planta y la que se obtiene al final del tratamiento.

#### 4.1.1 Método descriptivo

El objetivo de realizar el estudio estadístico acerca de la calidad del agua cruda es obtener resultados sobre la base de todos los datos recopilados existentes en la PTP y obtener la distribución de frecuencia y probabilidad de recurrencia para los periodos de invierno, verano y transición.

#### 4.1.2 Análisis estadísticos de la calidad del agua cruda obtenida en los periodos establecidos

Las características físicas principales mediante las cuales se determina el tratamiento a darse el agua y la calidad obtenida son: Turbiedad y Color, basándose en estas se realizarán el análisis estadístico.

En la PTP no se realizan análisis físico – químicas del agua a diario, por ello no se determinan el resto de características como: pH, conductividad, temperatura, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, etc.

En los anexos Fig. 4-5, se adjunta una serie de datos meteorológicos con valores mensuales de precipitación; de 1989 a 2019 para la estación: La Virgen-Papallacta (M5025), en la cual se observa la intensidad de la precipitación en los diferentes meses del año, estableciendo para este análisis a los meses más lluviosos; como invierno, a los meses de escasa precipitación; como verano y a los meses de precipitación variada; como transición.



**Tabla 1.** *Tabla de transiciones*

DIC - ENERO	FEB-MAR-ABR	MAYO-JUNIO	JUL-AGO-SEP	OCT-NOV
TRANSICIÓN	INVIERNO	TRANSICIÓN	VERANO	TRANSICIÓN

#### 4.1.3 Estadísticas básicas

En las tablas 4-1 y 4-3 se presentan los datos de turbiedad y color respectivamente, los que se han obtenido del control diario de las propiedades físicas del agua que ingresa a la PTP a partir del 2018, año desde que vamos a tomar los datos para realizar esta evaluación.

#### 4.1.4 Análisis de la calidad de agua tratada en los años de evaluación de la PTP

El tratamiento que se da al agua está comprendido desde la dosificación del coagulante, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; por ello se determina la calidad del agua al final del proceso. En el Anexo, Fig. 4-10 se presenta la remoción de turbiedad del año 2018 y 2021, donde se indica la variación de turbiedad de agua cruda, sedimentada y distribución. Se establece el porcentaje de eficiencia en la remoción de turbiedad; entre el agua cruda y agua tratada.

### 4.2 ANALISIS DE TRATABILIDAD DEL AGUA

El agua al ser captada de fuentes superficiales o subterráneas tienen un cierto grado de contaminación, lo cual implica la necesidad de someterla a una serie de procesos para purificarla, a fin de que pueda ser utilizada como fuente de agua para consumo humano, proceso mediante el cual las sustancias objetables contenidas en el agua, sean removidas o transformadas en sustancias impuras. Básicamente consiste en adicionar determinadas sustancias químicas que reaccionan física o químicamente con la molécula de agua y los iones presentes en ella, para ayudar a remover las impurezas que contiene.

Para evaluar el proceso de coagulación y floculación; se dividen las pruebas de tratabilidad en tres etapas. Primera etapa, se analizan los parámetros óptimos que se enumeran a continuación, para diferente calidad de agua cruda. La segunda etapa, consiste en realizar pruebas, basándose en los parámetros de diseño de la PTP. Y la tercera, en establecer el funcionamiento en la planta, y compararlo con los valores obtenidos con las pruebas de laboratorio (Hernández E., 2003, Pág. 27).



Ensayos de laboratorio para determinar parámetros óptimos:

- 1) Dosis óptima de coagulante
- 2) Tiempo y gradientes óptimos de floculación
- 3) Velocidad de sedimentación óptima
- 4) Concentración óptima de coagulante

#### 4.2.1 Consideraciones Generales para la Realización de los Ensayos

##### 4.2.1.1 Toma de Parámetros Iniciales

Se toman los datos iniciales del agua cruda, estos datos son importantes para comparación con los resultados obtenidos en cada jarra en los diferentes procesos. Los datos tomados son: Color aparente, turbiedad, pH, alcalinidad, temperatura entre los más importantes (Hernández E., 2003).

##### 4.2.1.2 Tamaño del floc producido

Se observa el tamaño del floc y se determina cualitativamente según sus características. Se puede evaluar de acuerdo con: el Índice de Willcomb.

Se escoge como dosis óptima; la jarra que produzca un floc de mayor tamaño, aunque no siempre el de mayor tamaño produce una mejor velocidad de asentamiento aparente; que permita ver el agua clarificada (Hernández E., 2003).

Esta observación es bastante subjetiva y depende del criterio del observador.

**Tabla 2.** *INDICE DE WILLCOMB*

TIPO DE FLOC	DESCRIPCION
,-:	Floc coloidal, Ningún signo de aglutinación (Ausencia)
F	Visible, Floc muy pequeño (Fino)
M	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido (Medio)
G	Claro. Floc de tamaño relativamente grande (Grande)

Los resultados determinados con el Índice de Floculación se comparan con los datos de las jarras en las que se obtuvo menor turbiedad y color, después de la sedimentación y filtración.

Existen tres sistemas para toma de muestras:

- 1 uso de balde volumétrico graduado.
- 2 uso de jarras graduada.
- 3 el uso de celdas de vidrio redondas.

Se empleó para todas las pruebas las jarras de vidrio, que describiremos a continuación:

- Dimensiones: 11.5x14.0cm
- Capacidad: 1 litros
- Poseen medición graduada cada 200ml.

Al suspender la agitación de las jarras, luego del período de sedimentación; se toma una muestra de cada jarra con la ayuda de una inyección, la cantidad de muestra necesaria para realizar las determinaciones físico – químicas (Vargas, 2018, Pág. 14).

#### 4.2.1.3 Equipo de Prueba de Jarras

Este equipo consta de:

- Un agitador mecánico provisto con seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 300 revoluciones por minuto rpm), actualmente se obtiene equipos que operan con velocidades de hasta 400 rpm.
- Un iluminador de flóculos localizado en la base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado, de 1 000 ml [3].

### 4.2.2 Dosis óptima de coagulante

#### A. Objetivo

Establecer la dosis optima de sulfato de aluminio que produzca una rápida desestabilización de las partículas del agua y formen un floc compacto y pesado, el cual tendrá la capacidad de ser retenido en el proceso de sedimentación. El floc que se busca es el que da mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación (Hernández E., 2003).

## B. Equipamiento, materiales y reactivos

- Equipo de Prueba de Jarras, con 6 jarras de 1 litro.
- Turbidímetro
- Comparador de Color
- Medidor de pH
- Cristalería
- 6 jeringas hipodérmicas de 12 cm<sup>3</sup>
- Solución de Sulfato de Aluminio

## C. Procedimiento del ensayo

1. Se determina en el agua cruda; color aparente, turbiedad, pH, temperatura, alcalinidad, y dureza.
2. Para determinar el rango de dosificación con que se va a trabajar, se parte de los valores mínimos de dosificación que se aplican en la PTP, y se establece un rango que nos permita obtener el valor óptimo.
3. La dosificación mínima que se aplica en la planta está entre 40 a 45 mg/l, ya que con dosis menores no se obtiene una formación del floc óptima. Sin embargo, esta dosificación depende de la calidad del agua cruda que se quiera tratar.
4. Se determina la dosis de coagulante que se van agregar y se coloca en las jeringas, junto a cada jarra. Se procede luego a la mezcla rápida haciendo girar las paletas a 100 rpm, entonces se inyecta el coagulante y se mezcla durante 1 min.

Debe introducirse la jeringa dentro del líquido para que sea uniforme la mezcla.

1. Una vez realizada la mezcla rápida, se disminuye la velocidad de rotación de las paletas a 40 rpm durante 15 min ó a la velocidad que se aplica en la planta.
2. Luego del período de floculación, se suspende la agitación y se deja

sedimentar el agua por un tiempo estimado de 15 min.

3. Se procede con la toma de muestras del medio de la jarra, descartando los primeros mililitros de agua.
4. Se mide turbiedad y color de cada muestra.

#### **D. Consideraciones**

- La dosificación debe realizarse instantáneamente en todas las jarras, colocando el coagulante en el centro de la jarra para obtener una mezcla homogénea.
- La muestra de agua debe extraerse a una velocidad constante, por cuanto la velocidad de salida del flujo influye en el número de partículas arrastradas.
- La muestra se toma a una profundidad constante. En todos los ensayos realizados para de tratabilidad se toma las muestras a 10 cm por debajo del nivel de agua.

#### **E. Registro de datos**

Se registra la información correspondiente en la hoja indicada como PRUEBA DE JARRAS (PJ) No.: 01, 02, 03, 04, 05 y 06 donde constan los resultados del ensayo y Figuras: 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7 y 4-8, obtenidas en la etapa de tratabilidad. Con los resultados; se obtiene el gráfico:

Turbiedad Residual vs. Dosis de Sulfato.

Seleccionando así la dosis óptima; con la que se obtenga la mejor remoción de turbiedad y color.

### 4.3 DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

El evaluar los procesos integrantes de una planta de tratamiento de agua; consiste en una serie programada de actividades que permiten determinar:

- Si los procesos utilizados son los adecuados para tratar un tipo de agua,

- Los problemas existentes y su posible origen,
- El funcionamiento hidráulico de las unidades,
- La eficiencia y capacidad operacional de La floculación.

El presente capítulo tiene por objetivo evaluar el funcionamiento hidráulico por medio de trazadores.

#### **4.3.1 Ensayo con Trazadores**

El objeto de las pruebas con trazadores es el de determinar la proporción de flujo de pistón y flujo mezclado, de cortocircuitos y zonas muertas existentes en floculadores y sedimentadores, agregando al agua sustancias llamadas trazadoras, las cuales se inyectan en el afluente del tanque que se quiere analizar, en concentración conocida, y determinado a la salida del mismo, la forma como dicha concentración se distribuye a través del tiempo (Paho, 2010, Pág. 33).

El empleo de trazadores en plantas de tratamiento es de gran utilidad para:

- Determinar la distribución del flujo en reactores paralelos,
- Evaluar la eficiencia hidráulica y configuración de unidades de distribución; entrada y recolección de agua en reactores.
- Definir los tiempos reales de detención y sus principales características: tipos de flujo, espacios muertos y cortocircuitos en unidades de tratamiento como mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores, así como en modelos de reactores en etapa de diseño para conocer su comportamiento hidráulico y,
- Determinar y corregir deficiencias en forma previa a su construcción.

Las sustancias trazadoras pueden ser:

- a. Colorantes como fluoresceína o rodamina
- b. Iones como cloruros, especialmente de sodio o potasio

- c. Elementos radioactivos como isótopos
- d. Ácidos: clorhídrico, benzoico
- e. Otras sustancias químicas: alizarina, sapirol, naftol

Antes de elegir el tipo de trazador que se va a utilizar, se debe verificar la concentración de estas sustancias en el agua cruda, y seleccionar aquellas que se presenten en concentraciones constantes o muy bajas.

#### **4.3.2 Limitaciones de las Pruebas con Trazadores:**

1. Las pruebas con trazadores son muy útiles para conocer cómo se desplazan las diferentes masas de agua dentro de los floculadores o sedimentadores, pero los datos obtenidos se refieren solamente al momento en que se hace la prueba, y no representa necesariamente el comportamiento en todas las condiciones.
2. No se logra determinar la eficiencia en la desestabilización o remoción de las partículas, ya que estos procesos dependen no sólo de las características hidráulicas de los reactores; sino también de las características químicas (Arboleda, 1992 ).

#### **4.3.3 Prueba de Trazadores**

##### **a) Observaciones:**

Para la evaluación de los floculadores se realizaron las pruebas con trazadores: se realizó una prueba completa de las cuatro unidades; es decir, a medida que el trazador circulaba en cada unidad se realizaron las determinaciones respectivas para evaluar el funcionamiento de la Planta.

Se utilizó como trazador una solución de Cloruro de Sodio (NaCl) y la dosificación se realizó de forma instantánea.

Se establecieron cuatro puntos de muestreo, ver observación en Fig. 4-9.

- Punto 1. Salida del 1er grupo de floculadores,
- Punto 2. Salida del 2do grupo de floculadores,
- Punto 3. Salida del 3do grupo de floculadores,
- Punto 4. Salida del 4to grupo de floculadores.

Las muestras se recolectaron hasta que la concentración medida en el conductímetro alcanzó el nivel normal en el agua cruda.

#### **b) Cálculo de cantidad de Trazador**

Se debe aclarar que, en el proceso, la medición que se realizó es la Conductividad; por ser de práctica sencilla y no requiere de aparatos especiales.

La dosificación de la concentración  $C_0$ , se determinó en función de la concentración impuesta y el Volumen  $V$  de los reactores analizados (floculador).

$$P_2 = \frac{V \times K \times C_0}{10^3 \times I}$$

$$P_2 = \frac{482 \times 1.65 \times 41}{10^3 \times 0.90}$$

$$P_2 = 36.2 \text{ kg}$$

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Anexos Capítulo 4.1 RESULTADOS ANALISIS ESTADISTICOS

**Tabla 3.** *Turbiedad agua cruda (NTU) 2018 – 2019*

DÍA:	AÑO 2018											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	IUN	IUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	12,7	4,1	4,5	5,1	6,7	5,3	5,3	4,4	4,1	4,0	3,9	5,8
2	9,1	4,6	8,9	6,4	6,5	5,3	4,6	4,5	3,9	3,7	3,8	6,4
3	7,6	4,8	11,6	6,3	13,4	5,0	4,4	4,3	4,1	3,7	3,7	15,2
4	5,7	4,7	5,7	8,2	9,6	5,5	4,4	9,1	8,4	4,2	4,0	10,3
5	5,7	4,0	5,2	7,1	7,3	4,6	4,2	5,6	4,9	4,6	4,5	5,1
6	5,5	4,2	5,0	7,9	7,4	4,5	4,4	4,7	4,6	4,6	3,8	8,1
7	5,4	4,5	5,2	6,4	11,4	4,2	4,6	4,9	3,5	3,9	4,0	6,3
8	5,2	4,8	5,9	6,2	7,7	4,8	4,7	4,5	4,3	5,2	4,7	4,4
9	5,1	6,2	14,5	6,0	7,1	5,4	4,2	5,4	5,1	5,5	5,1	4,6
10	4,6	9,8	5,2	5,4	6,7	5,2	4,4	7,5	4,2	4,0	6,0	5,5
11	4,6	5,9	4,8	5,5	10,7	5,5	4,7	4,4	4,2	4,0	5,2	11,4
12	4,3	4,2	5,0	10,9	6,2	5,5	4,4	4,4	4,0	3,3	5,4	8,9
13	3,9	3,9	5,2	7,9	6,1	5,4	4,3	3,9	4,0	3,5	5,0	5,7
14	4,1	3,8	4,8	5,6	6,0	5,6	4,6	4,3	5,8	4,1	5,4	5,4
15	10,4	4,1	4,9	5,7	6,4	6,0	4,5	4,2	4,6	4,2	4,9	4,8
16	7,6	4,0	5,1	21,0	6,9	7,1	4,2	4,6	8,8	4,0	4,0	4,6
17	5,5	4,9	4,7	9,7	7,0	5,3	4,7	4,4	4,5	4,1	7,7	4,5
18	4,9	4,4	4,6	9,2	6,7	6,2	4,5	4,2	3,6	3,9	8,0	4,4
19	6,9	5,2	4,7	10,1	6,1	5,9	4,4	4,3	3,5	3,8	6,2	7,8
20	16,3	6,7	4,4	20,3	6,0	5,3	4,2	4,0	3,7	3,9	4,3	9,2
21	8,1	5,0	4,5	10,6	5,6	4,5	4,0	4,2	3,9	3,9	4,9	4,9
22	5,8	4,6	4,6	7,2	5,9	4,7	9,0	3,5	3,6	3,7	7,9	4,0
23	4,1	4,5	4,9	14,5	15,2	4,8	5,3	3,3	3,8	3,3	10,2	4,4
24	8,4	4,0	5,7	7,2	16,7	5,0	4,3	3,7	3,7	3,1	7,8	4,4
25	4,9	3,9	6,1	7,4	9,0	5,6	4,5	3,6	3,7	3,7	4,6	4,3
26	4,9	4,2	6,3	6,6	9,3	9,8	4,2	5,0	4,3	3,7	10,1	4,7
27	4,3	4,3	5,0	6,1	8,2	6,2	4,1	4,8	4,2	4,5	10,2	5,0
28	4,2	4,3	4,6	15,6	6,1	7,2	10,8	4,0	3,8	5,4	7,6	5,4
29	5,1		4,8	11,1	6,0	8,5	4,6	4,0	4,3	3,8	5,8	4,4
30	4,2		8,0	7,7	5,8	8,5	8,1	3,8	4,3	3,6	9,7	4,8
31	4,4		5,1		5,8		5,1	4,2		4,3		13,4

DÍA:	AÑO 2019											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	IUN	IUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	5,2	4,9	4,4	6,8	7,3	5,1	3,7	3,0	3,0	4,5	37,0	3,9
2	4,8	5,1	5,0	7,6	4,8	6,2	3,1	3,1	3,2	3,0	12,4	3,8
3	4,4	5,7	4,8	7,7	4,5	4,9	3,6	5,6	3,0	3,2	12,7	3,9
4	6,5	7,0	5,4	6,9	4,5	5,4	3,3	3,8	3,4	3,4	4,5	3,4
5	6,1	6,8	5,4	10,9	6,3	6,0	3,6	3,4	3,4	5,0	4,0	4,5
6	4,6	8,6	5,1	7,4	7,3	4,3	8,9	3,0	3,5	4,0	3,4	5,1
7	5,9	4,3	6,0	4,8	10,9	4,4	5,6	2,8	3,6	3,5	5,1	4,1
8	5,0	4,9	5,8	8,7	6,5	4,4	6,0	3,1	3,4	3,3	4,1	4,3
9	3,9	4,7	10,1	18,4	3,9	6,2	3,7	3,3	2,9	3,2	3,8	4,2
10	6,5	4,4	7,2	9,0	3,7	6,1	3,8	3,4	3,3	3,7	4,7	3,7
11	4,7	5,1	7,9	6,2	4,2	4,9	3,6	3,2	3,0	3,6	4,2	3,6
12	4,5	4,4	5,6	7,7	4,4	5,7	4,0	3,3	3,8	3,6	5,8	3,7
13	4,2	5,2	6,2	11,0	9,0	5,0	3,9	3,5	5,8	5,1	12,6	3,5
14	4,3	5,1	4,7	5,8	6,5	4,1	15,8	6,0	3,6	6,6	6,9	3,6
15	5,0	4,6	4,5	4,5	6,7	4,7	7,6	3,8	3,6	3,6	5,1	3,4
16	5,6	4,6	5,1	5,1	5,4	5,0	4,9	3,7	3,6	3,2	5,3	3,3
17	6,7	4,6	4,6	7,7	5,1	5,0	4,3	2,9	3,1	3,2	4,1	3,6
18	7,8	6,3	4,8	6,1	4,8	4,8	3,5	2,7	3,0	3,2	5,3	4,1
19	9,3	5,3	6,6	11,9	4,4	4,9	4,3	3,3	2,9	3,6	5,5	3,8
20	8,1	6,5	8,1	9,6	4,4	5,1	4,7	4,0	5,4	3,8	3,8	3,7
21	5,8	6,6	5,5	8,4	5,1	14,8	4,9	4,5	4,4	3,7	5,9	5,9
22	5,3	4,8	7,9	9,4	6,0	8,4	3,8	4,8	3,6	4,0	5,7	5,4
23	4,9	6,0	5,8	5,8	4,7	5,3	5,5	3,5	3,3	3,4	4,6	8,5
24	4,7	10,9	5,2	10,0	7,4	7,9	8,3	3,4	2,7	15,5	4,1	76,2
25	5,6	10,5	4,9	4,7	5,4	4,1	4,8	3,4	5,6	5,7	3,8	5,0
26	4,9	5,0	4,7	5,8	4,8	3,9	3,2	3,2	3,4	5,3	3,7	3,7
27	4,4	4,6	4,6	5,3	4,8	3,9	2,8	3,0	3,1	5,0	11,1	3,9
28	4,7	5,3	5,0	4,7	4,8	4,3	3,4	3,8	3,0	3,9	6,0	4,5
29	5,6		4,5	5,0	7,2	5,4	3,3	2,9	3,3	4,5	3,5	3,8
30	6,2		4,6	12,1	5,5	5,0	3,1	2,8	5,1	3,4	3,5	4,4
31	5,1		4,6		4,6		3,8	2,8		3,3		4,2

Fuente: EPMAPS

Elaboró: Roberto Pillajo



**Tabla 4. Turbiedad agua cruda 2020 (NTU) Continuación**

	DIA:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AÑO 2020	1	4,7	6,2	5,0	11,1	9,8	4,3	3,0	4,7	4,8	4,5	4,2	3,8
	2	4,1	9,1	4,7	36,5	7,8	4,5	15,7	3,5	4,6	4,0	4,3	9,3
	3	4,0	5,3	4,4	45,4	5,4	4,6	20,1	3,6	3,4	3,5	3,9	5,0
	4	3,9	3,8	5,9	7,6	5,3	4,8	6,9	3,7	3,9	3,8	3,9	4,1
	5	4,0	3,5	9,6	9,5	4,8	6,2	4,6	4,2	17,5	4,1	3,8	3,4
	6	3,7	3,5	7,8	8,2	4,9	5,6	4,8	4,1	4,9	4,4	3,9	8,2
	7	3,4	3,7	5,3	18,4	6,4	3,9	5,2	22,6	4,0	4,6	4,2	4,7
	8	3,3	4,7	4,9	8,1	9,2	4,2	4,2	5,2	4,2	8,7	4,1	3,0
	9	3,4	4,5	4,3	5,2	10,4	4,5	5,2	3,7	3,3	22,5	10,3	3,8
	10	3,3	4,9	6,1	5,9	11,5	7,3	7,2	4,5	11,4	5,5	6,0	5,2
	11	3,6	3,9	5,0	5,9	6,6	4,8	6,2	4,5	4,8	3,8	7,9	4,4
	12	5,9	3,6	5,8	4,2	4,5	4,4	5,1	3,8	3,8	4,1	6,3	3,6
	13	6,2	4,0	4,9	4,4	4,8	4,6	15,6	3,9	3,6	3,8	4,2	3,6
	14	4,7	3,7	6,2	4,7	4,6	9,8	10,4	8,9	4,1	4,0	4,1	3,6
	15	3,4	4,3	17,3	10,3	4,6	8,6	17,9	3,8	3,9	4,7	4,2	3,7
	16	3,7	3,9	7,4	5,1	4,6	6,6	6,2	4,1	3,9	4,6	3,9	3,5
	17	11,6	8,0	6,6	4,1	5,4	4,6	5,0	3,6	3,9	7,2	12,4	4,1
	18	4,8	7,1	5,2	4,5	6,5	5,9	3,9	3,8	4,7	5,7	12,6	5,2
	19	3,3	10,7	4,9	4,7	5,6	6,1	4,9	4,1	4,4	6,8	9,0	4,3
	20	3,9	5,2	6,1	4,6	5,2	6,5	5,4	12,8	4,1	8,8	8,9	3,7
	21	4,3	4,5	5,2	4,8	5,8	11,2	5,5	15,9	3,8	4,7	22,0	3,9
	22	3,4	4,5	5,7	4,3	5,4	5,2	11,7	6,6	3,7	19,6	5,4	3,9
	23	3,0	5,7	4,2	4,6	5,3	4,9	5,3	4,9	4,1	9,2	5,0	3,6
	24	4,5	4,3	4,1	4,6	7,7	4,3	3,7	4,3	4,0	5,4	5,0	3,3
	25	4,3	4,2	5,3	5,5	7,0	4,3	4,1	3,9	5,3	4,3	14,8	11,0
	26	4,9	7,0	3,6	4,8	4,3	4,1	4,0	3,5	5,5	9,2	4,4	5,3
	27	3,2	7,2	4,7	5,4	5,8	6,4	6,0	3,5	4,0	5,3	4,8	4,5
	28	2,7	7,7	4,3	5,2	4,5	5,4	3,8	3,7	4,1	4,4	5,5	3,9
	29	3,1	6,2	3,9	4,3	4,2	4,3	4,5	3,8	3,8	3,6	3,6	4,0
	30	3,0		12,4	4,8	4,3	4,2	4,1	3,9	4,2	4,6	3,4	5,2
	31	3,3		10,9		3,7		6,7	3,3		4,4		8,1

**Fuente: EPMAPS**
**Elaboró: Roberto Pillajo**

**Tabla 5.** *Turbiedad agua cruda 2020 (NTU) Continuación ESTADÍSTICAS BÁSICAS*

2018 - 2020

Resultados obtenidos del análisis estadístico de los datos de turbiedad de agua cruda de la planta de tratamiento de Paluguillo de los años 2018 al 2020.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Trans,	Invierno			Transición		Verano			Invierno		Trans,
<b>MINIMO</b>	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
<b>MAXIMO</b>	16	11	17	45	17	15	20	23	17	23	37	76
<b>MEDIA</b>	5	5	6	8	7	6	6	5	4	5	6	6
<b>MODA</b>	3	5	5	5	5	5	4	3	4	4	4	4
<b>VARIANZA</b>	5	3	5	37	6	3	10	7	4	9	20	59
<b>K</b>	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8
<b>N DATOS</b>	93	85	93	90	93	90	93	93	90	93	90	93
<b>RANGO</b>	14	7	14	41	13	11	17	20	15	19	34	73
<b>N INTERVA</b>	2	1	2	6	2	1	2	3	2	3	4	10
<b>AMPLI CLASE</b>	1	1	1	4	1	1	2	2	2	2	4	8
<b>k=√N</b>	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	10

**Fuente:** EPMAPS

**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 6. Color agua cruda 2018 - 2019 UC (Pt-Co)**

Datos de color de agua cruda obtenidos de los archivos de las hojas de control de operación de la planta de tratamiento de Paluguillo de los años 2018 al 2019.

	DIA:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AÑO 2018	1	71	36	42	43	51	43	45	45	40	31	35	61
	2	62	36	53	48	57	47	46	40	40	34	35	53
	3	53	44	61	49	94	47	50	40	40	34	40	76
	4	49	43	50	60	75	48	48	80	65	37	36	79
	5	49	35	46	56	72	40	40	71	40	34	43	52
	6	42	35	47	68	64	36	47	40	38	39	38	53
	7	42	43	45	55	83	38	53	40	31	33	37	54
	8	44	45	52	62	80	37	53	40	39	37	37	45
	9	40	35	114	51	65	40	46	46	40	42	40	45
	10	40	51	49	50	65	40	40	50	37	38	47	44
	11	41	39	43	47	82	42	47	52	39	32	45	69
	12	35	36	40	64	65	39	43	49	38	30	43	77
	13	34	40	40	65	65	40	45	47	37	30	43	50
	14	37	35	42	43	55	40	47	45	42	33	45	47
	15	65	38	46	46	85	50	50	45	40	36	40	48
	16	51	37	40	126	86	50	48	44	57	34	33	43
	17	43	44	40	79	75	45	42	40	45	39	41	44
	18	46	45	40	50	75	50	40	40	38	35	48	41
	19	65	38	40	67	73	45	40	40	36	32	42	47
	20	145	48	45	160	80	45	40	40	40	34	43	64
	21	98	43	45	79	63	43	41	43	33	33	43	49
	22	58	41	43	63	54	46	70	43	31	30	70	43
	23	49	40	48	88	92	45	47	36	30	30	57	40
	24	85	42	57	58	98	45	41	39	30	30	53	40
	25	43	40	58	64	74	46	44	42	33	31	43	40
	26	48	37	46	42	79	66	40	43	33	30	61	45
	27	43	40	40	50	77	61	45	38	37	34	70	47
	28	45	40	41	114	68	51	67	34	33	47	57	44
	29	41	40	40	103	58	57	45	38	33	30	50	39
	30	36	61	73	56	58	53	38	33	31	79	44	44
	31	42		41		57		47	41		35		58
AÑO 2019	1	40	40	42	51	61	38	38	34	35	40	232	35
	2	43	40	40	50	52	40	32	28	33	31	139	40
	3	44	40	40	52	46	40	37	49	42	34	111	40
	4	45	51	40	42	46	38	36	41	42	35	40	36
	5	45	50	43	73	57	50	35	40	40	38	34	43
	6	44	61	43	60	70	42	46	41	40	38	30	50
	7	50	41	44	40	96	38	43	40	40	37	48	40
	8	47	46	45	52	61	36	58	40	41	36	33	40
	9	36	43	46	94	43	43	47	38	40	35	33	40
	10	43	40	38	71	40	50	44	38	40	39	43	38
	11	40	38	52	53	40	45	40	40	37	40	40	40
	12	40	38	48	43	40	50	40	41	42	40	41	40
	13	37	40	49	61	60	47	39	43	53	40	66	33
	14	38	40	40	48	53	43	82	59	40	49	55	30
	15	43	40	33	40	64	40	69	44	40	35	43	31
	16	45	38	39	42	56	44	42	43	38	34	45	33
	17	49	38	36	60	58	43	41	38	37	33	42	32
	18	54	38	36	50	52	43	39	39	37	32	49	42
	19	131	40	44	73	50	50	36	39	33	30	55	40
	20	58	51	50	63	44	41	46	40	39	30	43	40
	21	49	61	51	66	49	163	41	45	46	30	52	43
	22	57	46	50	70	48	80	38	52	31	35	55	48
	23	49	48	45	45	43	45	50	38	34	33	42	58
	24	47	69	40	60	55	60	63	38	30	107	38	141
	25	50	58	42	43	47	45	51	37	48	52	33	45
	26	48	45	43	54	45	41	35	36	33	38	35	42
	27	43	45	40	44	53	40	32	35	31	35	77	38
	28	39	43	40	40	45	40	31	32	32	43	48	40
	29	43		40	45	52	47	31	32	30	48	40	40
	30	42		40	62	44	41	27	30	43	37	39	41
	31	47		40		39		40	33		38		45

Fuente: EPMAPS  
Elaboró: Roberto Pillajo

**Tabla 7. Color agua cruda 2020 UC (Pt-Co) continuación**

	DÍA:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>AÑO 2020</b>	1	44	53	50	65	65	40	33	51	37	40	40	36
	2	45	54	43	83	54	35	63	46	42	40	40	57
	3	44	40	40	153	50	35	83	40	33	36	33	53
	4	41	40	45	52	49	40	50	40	35	39	30	43
	5	40	40	62	59	50	40	50	41	125	41	30	33
	6	36	38	52	61	53	40	43	50	58	40	31	55
	7	39	39	45	112	62	37	40	82	43	40	40	44
	8	39	40	33	56	62	39	44	48	44	58	40	33
	9	40	41	40	50	78	40	46	43	41	139	53	34
	10	40	45	51	50	80	50	67	40	87	48	44	47
	11	40	33	46	50	56	40	60	40	49	39	52	38
	12	46	38	47	50	43	40	50	36	33	40	47	39
	13	44	40	40	50	58	48	59	39	30	40	40	40
	14	40	38	50	46	55	90	56	70	37	40	33	37
	15	33	40	82	82	43	51	83	45	40	33	34	33
	16	36	38	52	53	42	48	49	43	39	35	31	30
	17	69	50	66	45	48	43	49	40	40	43	38	32
	18	43	46	50	40	50	40	42	39	40	40	63	37
	19	38	53	42	44	60	45	40	40	40	40	85	40
	20	38	43	42	47	51	60	48	63	40	45	59	35
	21	47	40	42	49	46	66	53	77	40	39	105	39
	22	43	41	47	50	48	48	57	49	39	106	57	40
	23	43	49	41	46	50	50	49	44	40	72	48	36
	24	45	40	40	49	56	39	50	40	40	40	43	32
	25	45	42	41	57	54	38	43	33	48	40	83	54
	26	46	63	40	49	45	38	40	30	50	61	40	42
	27	40	49	44	46	49	41	48	34	43	38	44	40
	28	42	56	40	43	43	40	38	31	43	30	43	40
	29	41	50	40	40	40	40	45	38	41	30	33	36
	30	38		48	48	40	49	47	38	40	34	31	36
	31	38		58		35		61	33		38		58

**Fuente: EPMAPS**
**Elaboró: Roberto Pillajo**

**Tabla 8.** Color agua cruda ESTADÍSTICAS BÁSICAS 2018 – 2020

Resultados obtenidos del análisis estadístico de los datos de color de agua cruda de la planta de tratamiento de Palugullo de los años 2018 al 2020.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Trans,		Invierno		Transición		Verano		Invierno		Trans,	
<b>MINIMO</b>	33	33	33	40	35	35	27	28	30	30	30	30
<b>MAXIMO</b>	145	69	114	160	98	163	83	82	125	139	232	141
<b>MEDIA</b>	48	43	46	60	59	47	47	43	41	40	50	45
<b>MODA</b>	40	40	40	50	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>VARIANZA</b>	283	49	105	499	213	232	116	98	144	255	698	200
<b>K</b>	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8
<b>N DATOS</b>	93	85	93	90	93	90	93	93	90	93	90	93
<b>RANGO</b>	113	36	82	120	63	128	56	54	95	110	202	111
<b>N INTERVA</b>	15	5	11	16	8	17	7	7	13	15	27	15
<b>AMPLI CLASE</b>	12	4	8	13	6	13	6	6	10	11	21	12
<b>k=√N</b>	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	10

**Fuente:** EPMAPS

**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 9.** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**DATOS METEOROLOGICOS**

**ESTACIÓN: LA VIRGEN – PAPALLACTA**

**PERIODO: 1989 - 2019**

**PERIODO: 1989 - 2019 LATITUD: -0.333611**

**LONGITUD: -78.198333**

**ALTITUD: 3920 metros**

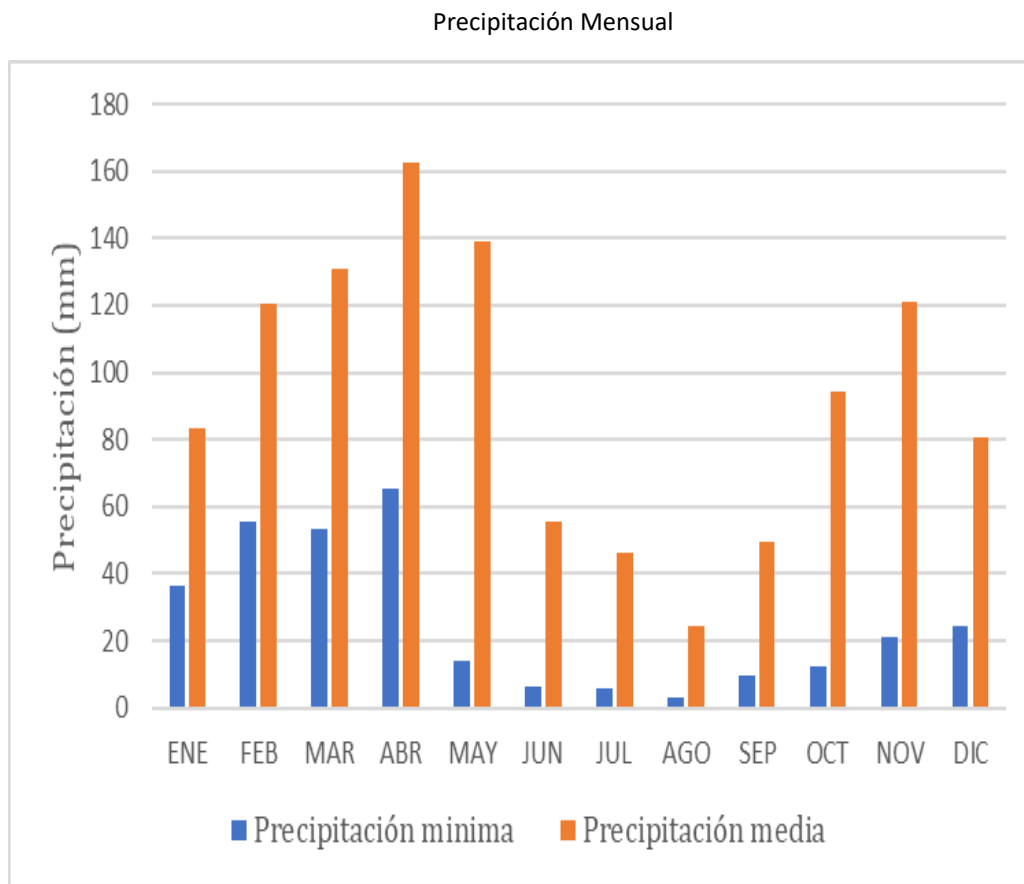
**PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)**

**VALORES MENSUALES**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1989	137,8	129,3	137,7	118,5	56,8	50,2	30,1	12,5	45,8	90,9	70,8	54,5
1990	47,3	131,6	71,1	110,9	65,3	60	26,6	8,6	113,7	213,4	48,5	67,3
1991	52	111,9	97,2	77,8	104,5	20,5	16,8	9	27,2	33,7	160,5	104,6
1992	81,8	107,3	198,4	294,2	256,5	100,7	98,6	8,8	42,3	30,5	40,7	47,9
1993	77,2	178,7	145,4	205,4	105,7	31	11,2	10,9	33,4	78	57,9	122,1
1994	107,5	106,3	130,4	114,9	153,8	30,8	13,3	22,5	20,3	144,7	74,6	192,6
1995	79,9	92,2	83,1	139,1	78,1	37,1	65,7	29,3	18,7	44,9	174,6	57,3
1996	69,9	131,7	138,4	123,1	33,4	23,1	39,7	13,2	49	75,7	75	52,5
1997	72	96,8	106,9	165,6	135,3	185,4	33,8	144,7	58	185,4	199,5	110,1
1998	47,6	211,8	230,3	199	423,4	270,1	110,2	18,9	25,5	55,6	316,3	24,4
1999	66,9	190,9	167,8	202,3	161,9	23,7	20,2	27,1	97,8	54,5	79,2	136,3
2000	74,4	91,4	117,1	180,6	227,4	42,2	5,8	12,8	54,6	27,1	210,9	72
2001	127,6	74,3	61,7	195,4	136	7,2	18	3,3	12,7	12,4	69	42,3
2002	36,5	130,1	191,8	239,1	137	19,8	19,7	4,7	16,9	103,3	365,3	141,1
2003	94,5	96,1	82,4	137	124,2	32,1	208,7	26,5	12,5	366,9	270,8	120,3
2004	53,8	55,7	107,6	116,6	170,3	19,6	33,2	8,4	106,6	79,2	21,1	25,5
2005	51,9	65	62,3	180,1	13,8	6,5	24,8	4,5	17,4	17,9	27,1	73,2
2006	59,6	149,8	138,8	65,4	31,6	24,9	37,9	27,5	68,4	30,5	149,6	38,1
2007	55	70,6	108,5	160	88,3	39,4	119,9	5,7	9,5	18,1	117,7	41,9
2008	111,5	120	167,3	129,1	104,9	15,3	50,5	181,4	67,3	80,2	59,8	27,6
2009	103,7	85,5	108,9	73,5	93,7	40,3	12,7	24,6	11	60,7	29,8	58,4
2010	78,2	161,7	142,9	215,3	222,8	43,9	117,8	14,3	53,1	21,9	115,1	174,7
2011	81,3	119,8	53,1	274,7	38,7	108,2	57,2	9,6	46,7	50,4	63,2	148,5
2012	177,2	193,7	194,1	152,3	195,2	45,9	10	11	18,3	56,8	146,3	77,5
2013	90,4	122,5	169,5	197,1	115,4	24,3	22,4	16,1	24,7	156,2	28,3	44,6
2014	71,2	107	83,5	107,8	176,1	52,3	21,5	31,3	155,7	167,2	36,5	38,6
2015	75,6	98,8	136,5	192,5	185,3	165,4	113,9	8,6	11,4	251,2	188,2	98,6
2016	86,9	85	167,8	185	65,7	55,6	10,7	9,8	122,8	19,6	85,9	70,1
2017	113,1	187,9	211,4	257,8	298,2	62,5	11	18,2	69	181,1	28,9	67,1
2018	53	124,8	73,6	105,1	96	55	32	19,1	18	118	107	90
2019	140,9	110,6	166,7	119,1	218,7	32,1	42,1	14,9	101,1	92,9	334,7	88
<b>SUMA</b>	2576	3739	4052	5034	4314	1725	1436	757,8	1529	2919	3753	2508
<b>MEDIA</b>	83,1	120,6	130,7	162,4	139,2	55,65	46,32	24,45	49,34	94,16	121,1	80,89
<b>MINIMO</b>	36,5	55,7	53,1	65,4	13,8	6,5	5,8	3,3	9,5	12,4	21,1	24,4
<b>MAXIMO</b>	177,2	211,8	230,3	294,2	423,4	270,1	208,7	181,4	155,7	366,9	365,3	192,6

**Fuente: INAMHI 2021**

**Figura 2.** Datos Meteorológicos año 1989 - 2019



**Fuente:** INAMHI

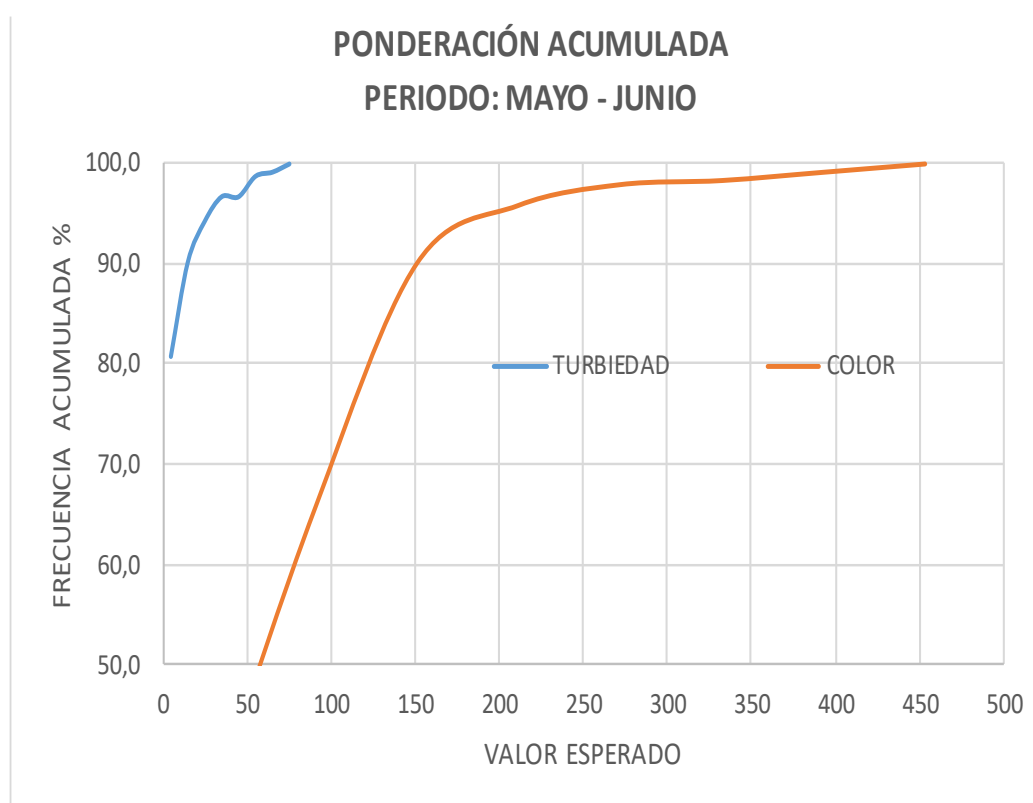
**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 10. Turbiedad y color 2018 – 2020.**

Periodo: mayo – junio  
Ponderación acumulada  
(Transición)

TURBIEDAD							COLOR						
RANGO DE VARIACIÓN		MARCA DE CLASE	F. ABS. M - J	FREC. REL.	F. REL. ACUM.	F. REL. ACUM.	RANGO DE VARIACIÓN		MARCA DE CLASE	F. ABS. M - J	FREC. REL.	F. REL. ACUM.	F. REL. ACUM.
			fi	fi / n	?fi / n	%				fi	fi / n	?fi / n	%
0	9	4,5	196	0,807	0,807	80,7	0	60	30	88	0,364	0,364	36,4
10	19	14,5	23	0,095	0,901	90,1	61	120	90	71	0,293	0,657	65,7
20	29	24,5	10	0,041	0,942	94,2	121	181	151	59	0,244	0,901	90,1
30	39	34,5	6	0,025	0,967	96,7	182	241	211	14	0,058	0,959	95,9
40	49	44,5	0	0,000	0,967	96,7	242	302	272	5	0,021	0,979	97,9
50	59	54,5	5	0,021	0,988	98,8	303	362	332	1	0,004	0,983	98,3
60	69	64,5	1	0,004	0,992	99,2	363	423	393	2	0,008	0,992	99,2
70	79	74,5	2	0,008	1,000	100,0	424	483	453	2	0,008	1,000	100,0

**Figura 3. Turbiedad y color 2018 – 2020. Periodo: mayo – junio**



**Elaboró:** Roberto Pillajo



**Tabla 3. Turbiedad Agua Cruda 2021 (NTU)**

DÍA:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	7,3	4,8	4,9	5,6	5,4	3,9	6,2	4,2	4,4	3,5	4,3	3,9
2	12,8	4,7	9,8	4,6	6,1	4,4	4,6	6,1	3,8	3,7	4,6	3,9
3	17,9	5,1	21,4	4,5	11,2	3,9	4,1	4,8	4,3	3,8	4,8	3,9
4	6,4	4,8	7,7	8,4	5,7	4,4	3,6	4,2	3,7	4,0	13,2	3,6
5	12,0	4,7	6,3	5,0	5,4	4,4	4,0	10,4	4,0	3,6	5,3	4,0
6	11,9	5,5	5,6	4,8	5,8	4,3	4,1	6,6	21,2	4,5	4,6	3,5
7	7,6	4,7	4,8	4,0	5,2	7,6	4,0	3,8	6,9	3,4	5,0	3,8
8	7,1	4,1	5,8	4,6	4,3	4,6	4,7	3,3	4,3	3,8	3,9	5,1
9	10,2	4,5	4,0	5,4	4,7	5,1	5,8	3,9	3,7	3,5	4,4	3,9
10	9,8	18,2	4,6	4,5	4,7	4,4	5,6	4,4	4,7	3,8	3,9	4,0
11	34,7	4,1	12,7	4,8	4,7	3,9	5,1	4,6	4,3	3,8	4,6	3,6
12	13,4	3,9	9,1	4,5	5,2	3,8	5,0	4,5	4,7	4,0	4,6	4,8
13	13,0	4,8	9,9	4,3	5,1	9,9	4,0	4,1	4,2	5,0	4,9	7,7
14	7,9	4,4	17,5	4,3	5,7	5,2	4,5	3,9	3,3	4,3	4,5	5,2
15	9,2	4,1	11,6	6,0	5,7	4,7	3,9	4,1	4,0	4,1	5,7	9,3
16	9,5	7,8	6,7	9,8	9,8	4,2	4,3	4,2	3,5	4,3	5,0	9,6
17	7,8	5,9	5,7	4,9	6,7	4,0	4,7	4,5	3,8	4,1	4,9	14,2
18	6,5	5,3	8,2	4,4	9,6	4,4	13,8	3,9	3,6	4,0	10,6	11,3
19	7,4	14,4	14,9	12,2	5,2	4,2	17,9	4,0	3,3	4,4	15,1	8,9
20	7,0	26,3	17,8	7,3	4,8	7,6	7,3	3,9	3,6	4,3	8,9	5,2
21	6,5	6,8	7,8	5,4	4,7	9,4	4,6	3,2	3,9	7,5	4,8	4,3
22	7,0	6,6	9,5	7,3	5,9	5,3	8,4	4,3	4,2	10,3	3,9	3,8
23	7,1	5,7	13,8	7,3	6,1	3,6	4,7	5,4	6,8	5,4	3,9	4,4
24	6,1	5,2	8,8	3,8	6,0	4,3	5,1	3,9	4,8	7,3	3,9	4,3
25	6,0	11,8	6,4	4,2	5,5	4,3	4,7	3,4	8,0	6,9	5,4	4,0
26	6,3	6,7	6,2	5,0	9,6	4,1	4,1	3,1	3,7	6,3	4,7	4,3
27	5,4	5,6	5,9	5,1	5,1	4,1	3,8	3,9	4,0	4,2	3,8	4,0
28	5,4	6,0	5,9	10,7	4,0	4,3	3,7	3,9	4,4	5,9	3,8	4,4
29	5,2		6,8	14,3	4,8	4,5	4,0	3,7	4,8	5,5	4,1	4,5
30	5,4		10,1	16,4	5,9	9,1	3,8	3,8	4,4	6,1	4,5	4,4
31	4,2		5,7		4,5		3,8	3,9		4,3		4,7

**Elaboró: Roberto Pillajo**

**Tabla 4. Turbiedad Agua Cruda año 2021**

ESTADÍSTICAS BÁSICAS

2021

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Trans,	Invierno			Transición			Verano		Invierno		Trans,
<b>MINIMO</b>	4,2	3,9	4,0	3,8	4,0	3,6	3,6	3,1	3,3	3,4	3,8	3,5
<b>MAXIMO</b>	34,7	26,3	21,4	16,4	11,2	9,9	17,9	10,4	21,2	10,3	15,1	14,2
<b>MEDIA</b>	9,2	7,0	8,9	6,5	5,9	5,1	5,4	4,4	4,9	4,8	5,5	5,4
<b>MODA</b>	5,4	4,7	5,7	4,6	4,7	4,4	4,0	4,2	4,3	3,8	3,9	3,9
<b>VARIANZA</b>	33,5	25,7	20,6	11,2	4,0	3,8	9,8	2,3	11,0	3,0	8,3	7,5
<b>K</b>	5,95	5,80	5,95	5,90	5,95	5,90	5,95	5,95	5,90	5,95	5,90	5,95
<b>N DATOS</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>RANGO</b>	30,5	22,4	17,4	12,6	7,2	6,3	14,3	7,3	17,9	6,9	11,3	10,7
<b>N INTERVA</b>	5	4	3	2	1	1	2	1	3	1	2	2
<b>AMPLI CLASE</b>	5	4	3	2	1	1	3	1	3	1	2	2
<b>k=√N</b>	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6

**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 5. Color Agua Cruda año 2021 UC (Pt - Co)**

	DIA:	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>AÑO 2021</b>	1	60	45	50	60	60	40	50	38	42	38	40	40
	2	69	48	58	47	67	41	40	47	40	40	41	39
	3	87	49	83	40	92	46	40	41	40	40	40	38
	4	53	45	53	51	50	40	40	42	40	40	48	38
	5	74	42	58	48	53	40	40	47	40	35	40	40
	6	77	40	52	40	55	40	40	44	72	46	43	40
	7	70	40	50	40	51	62	40	39	62	35	40	40
	8	63	40	50	40	50	44	47	38	44	30	36	52
	9	72	40	49	40	50	45	48	40	35	31	37	40
	10	60	118	40	40	50	50	47	40	40	30	38	40
	11	91	41	83	45	50	48	45	40	40	30	40	40
	12	63	32	73	49	50	38	43	40	42	32	38	43
	13	65	37	88	50	53	63	40	39	42	43	43	77
	14	57	36	171	50	50	45	38	38	37	40	32	74
	15	58	34	77	53	50	40	38	40	38	40	44	83
	16	60	52	70	67	65	40	40	38	33	40	49	57
	17	56	48	70	53	60	40	42	40	32	39	40	68
	18	50	52	73	47	91	45	81	39	38	35	83	65
	19	51	82	74	63	60	38	132	39	33	35	83	60
	20	40	108	84	44	50	55	60	39	35	35	73	50
	21	43	70	70	50	50	96	45	38	39	57	49	41
	22	50	57	67	56	50	43	50	40	38	63	38	40
	23	53	50	72	59	56	42	38	44	62	45	44	40
	24	60	50	69	38	53	42	44	39	50	50	40	43
	25	51	62	60	40	51	40	40	38	55	61	52	42
	26	48	55	60	40	63	40	38	38	38	43	44	40
	27	50	48	60	40	53	40	40	43	40	40	38	34
	28	47	50	60	60	38	40	40	37	40	46	38	38
	29	45		68	74	45	41	40	38	40	45	40	40
	30	48		74	107	48	50	39	30	39	52	40	40
	31	46		61		44		38	35		40		40

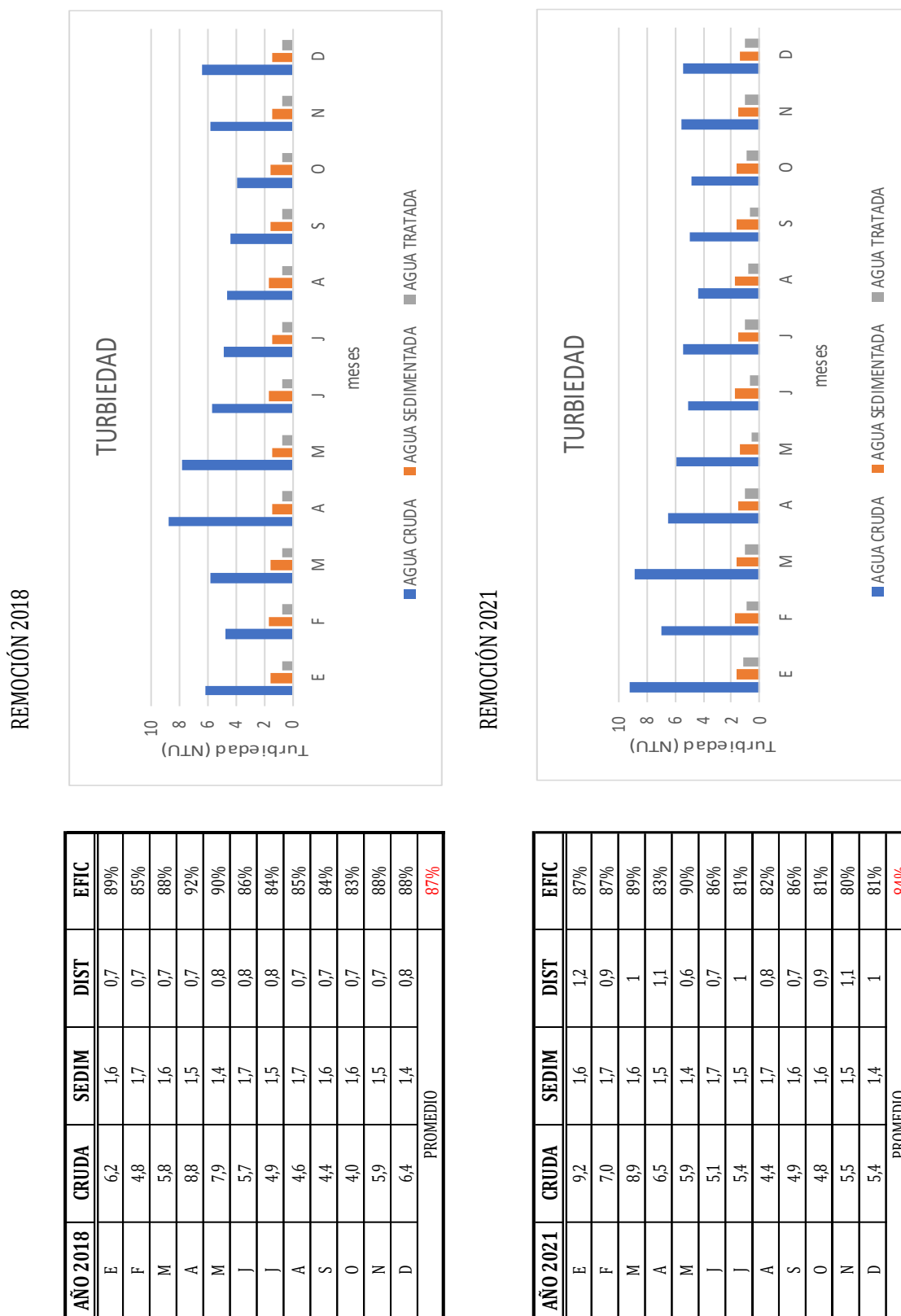
**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 6. Color Agua Cruda ESTADÍSTICAS BÁSICAS 2021**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Trans,	Invierno			Transición			Verano		Invierno		Trans,
<b>MINIMO</b>	40,0	31,7	39,6	38,3	38,3	37,5	37,5	30,0	32,1	30,0	31,7	34,2
<b>MAXIMO</b>	90,8	117,5	170,8	106,7	91,7	95,8	131,7	47,1	71,7	62,9	83,3	83,3
<b>MEDIA</b>	58,7	52,4	68,6	50,9	55,1	45,7	46,5	39,6	42,2	41,1	45,0	47,1
<b>MODA</b>	60,0	40,0	60,0	40,0	50,0	40,0	40,0	39,2	40,0	40,0	40,0	40,0
<b>VARIANZA</b>	255,3	486,8	631,3	272,6	220,2	192,3	377,5	59,0	136,4	122,3	218,3	237,9
<b>K</b>	5,95	5,80	5,95	5,90	5,95	5,90	5,95	5,95	5,90	5,95	5,90	5,95
<b>N DATOS</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>RANGO</b>	50,8	85,8	131,3	68,3	53,3	58,3	94,2	17,1	39,6	32,9	51,7	49,2
<b>N INTERVA</b>	9	15	22	12	9	10	16	3	7	6	9	8
<b>AMPLI CLASE</b>	9	16	24	12	10	11	17	3	7	6	9	9
<b>k=VN</b>	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6

**Elaboró:** Roberto Pillajo

**Tabla 7.** Turbiedad agua cruda 2018 – 2021. Remoción.



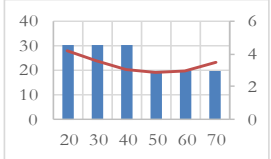
Elaboró: Roberto Pillajo

## Anexos Capítulo 4.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD

**Tabla 16. Prueba de jarras #1**

ISO - 9001		PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO "PRUEBA DE JARRAS"	EPMAPS AGUA DE QUITO
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		
		CODIGO: FGAP-70	

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	Coagulante:
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	Volumen de agua para las jarras: 1 litro

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE	
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE			
AGUA CRUDA	1	20	2	4,15	30	SULFATO DE ALUMINIO		Roberto P.	
	2	30	4	3,58	30				
	Turbiedad:	3	40	4	3,06				30
	8,09 NTU	4	50	4	2,87				20
	Color:	5	60	4	2,99				20
	40 Pt-Co	6	70	4	3,46				20
						<b>50</b>			

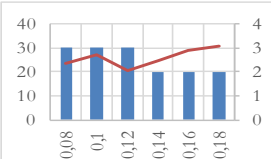
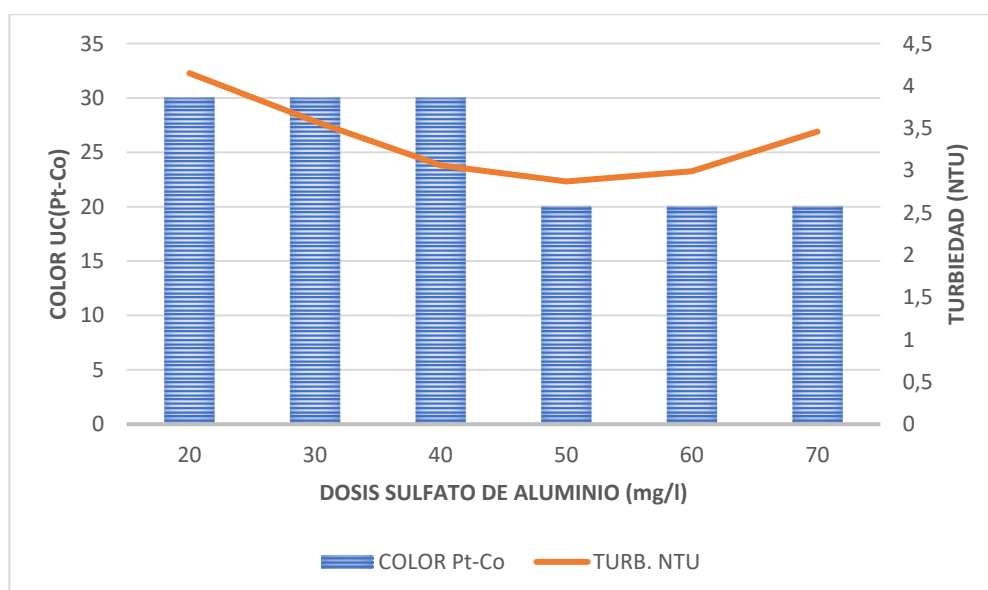

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE	
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE			
AGUA CRUDA	1	0,08	4	2,37	30	POLIMERO		Roberto P.	
	2	0,10	4	2,69	30				
	Turbiedad:	3	0,12	4	2,05				30
	8,09 NTU	4	0,14	4	2,48				20
	Color:	5	0,16	4	2,88				20
	40 Pt-Co	6	0,18	6	3,06				20
						<b>0,12</b>			

Figura 1 Dosis óptima de coagulante

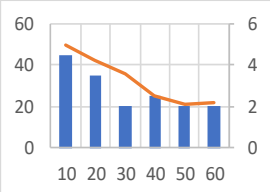


Elaboró: Roberto Pillajo

**Tabla 17. Prueba de jarras #2**

ISO - 9001		<b>PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO</b> <b>"PRUEBA DE JARRAS"</b> CODIGO: FGAP-70	
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	
Coagulante:	
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Volumen de agua para las jarras: 1 litro	
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE		
AGUA CRUDA	1	10	0	5,01	45	SULFATO DE ALUMINIO		Roberto P.
	2	20	2	4,21	35			
	3	30	4	3,61	20			
	4	40	4	2,54	25			
	5	50	4	2,12	20			
	6	60	4	2,21	20			
Turbiedad:						50		
5,19 NTU								
Color:								
60 Pt-Co								

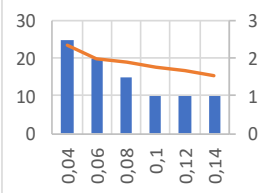
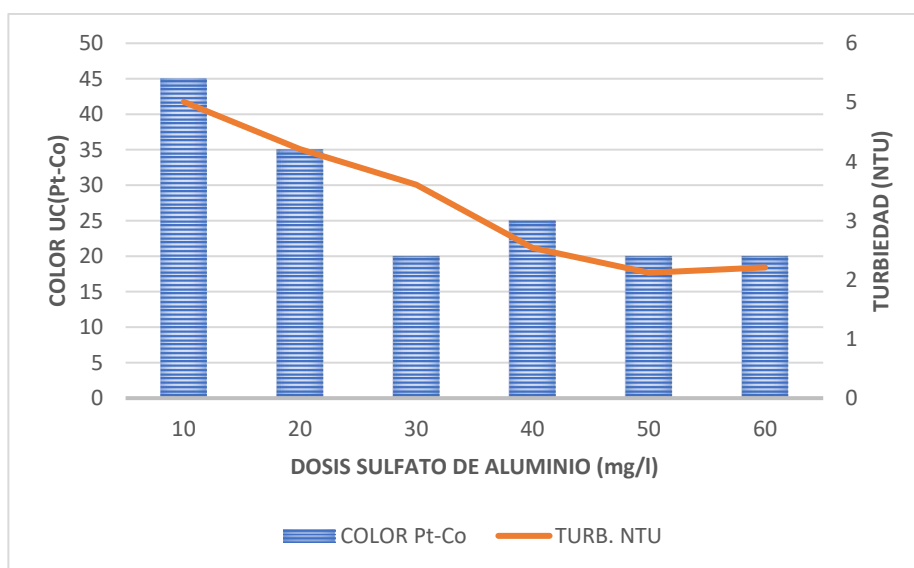

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE		
AGUA CRUDA	1	0,04	2	2,34	25	POLIMERO		Roberto P.
	2	0,06	4	2,01	20			
	3	0,08	4	1,90	15			
	4	0,10	4	1,75	10			
	5	0,12	4	1,65	10			
	6	0,14	6	1,54	10			
Turbiedad:						0,12		
5,19 NTU								
Color:								
60 Pt-Co								

Figura 2 Dosis óptima de coagulante.

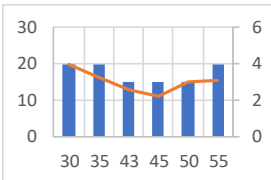


Elaboró: Roberto Pillajo

**Tabla 18. Prueba de jarras #3**

ISO - 9001		<b>PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO</b> <b>"PRUEBA DE JARRAS"</b> CODIGO: FGAP-70	
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	Coagulante:
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	Volumen de agua para las jarras: 1 litro

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE		
AGUA CRUDA	1	30	2	3,97	20	SULFATO DE ALUMINIO		Roberto P.
	2	35	2	3,26	20			
	3	43	2	2,59	15			
	4	45	2	2,25	15			
	5	50	2	3,01	15			
	6	55	2	3,11	20			
						mg/l		
						<b>45</b>		

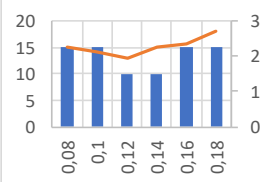
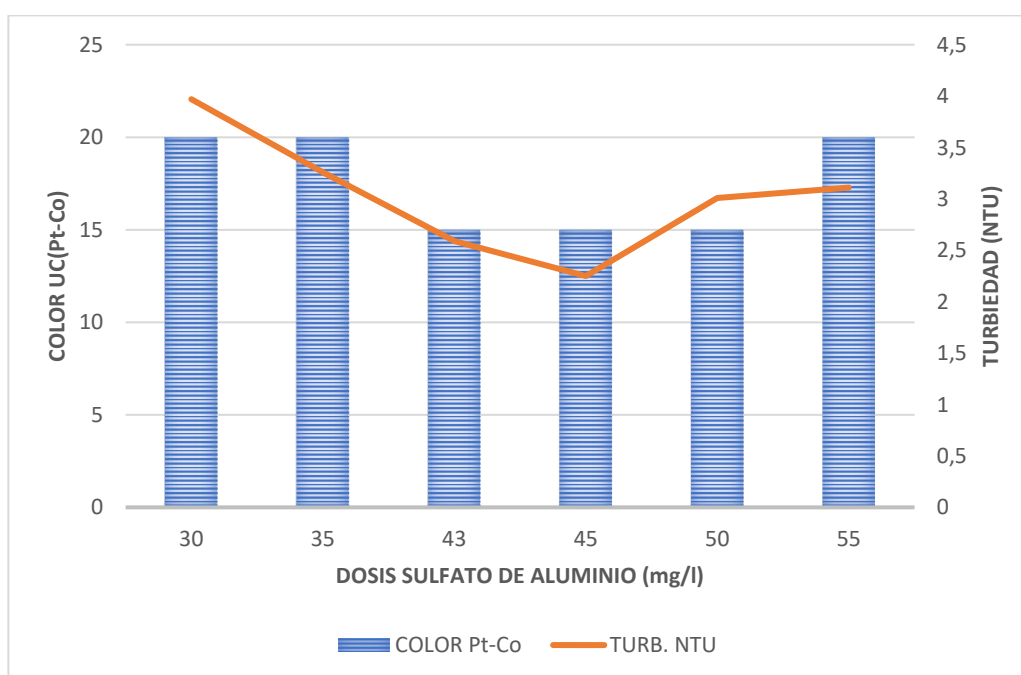
FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE		
AGUA CRUDA	1	0,08	4	2,26	15	POLIMERO		Roberto P.
	2	0,10	4	2,11	15			
	3	0,12	4	1,94	10			
	4	0,14	4	2,26	10			
	5	0,16	4	2,35	15			
	6	0,18	4	2,70	15			
						mg/l		
						<b>0,12</b>		


Figura 3 Dosis óptima de coagulante.



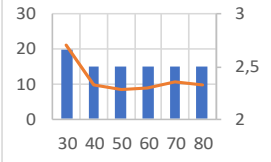
Elaboró: Roberto Pillajo



**Tabla 19.** Prueba de jarras #4

ISO - 9001		PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO "PRUEBA DE JARRAS" CODIGO: FGAP-70	
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	Coagulante:
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	Volumen de agua para las jarras: 1 litro

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE		
AGUA CRUDA	1	30	2	2,71	20	SULFATO DE ALUMINIO		Roberto P.
	2	40	2	2,32	15			
	3	50	4	2,28	15			
	4	60	4	2,30	15			
	5	70	4	2,35	15			
	6	80	4	2,33	15			
Turbiedad:		4,33 NTU						
Color:		35 Pt-Co						

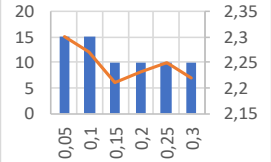
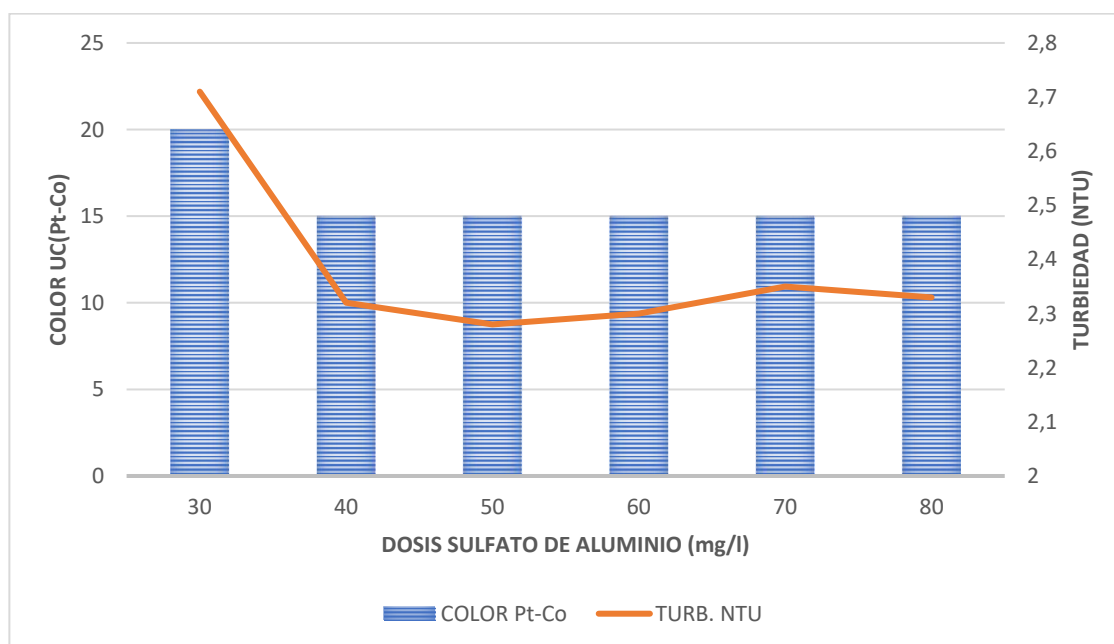

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE		
AGUA CRUDA	1	0,05	4	2,3	15	POLIMERO		Roberto P.
	2	0,10	6	2,27	15			
	3	0,15	6	2,21	10			
	4	0,20	6	2,23	10			
	5	0,25	6	2,25	10			
	6	0,30	6	2,22	10			
Turbiedad:		4,33 NTU						
Color:		35 Pt-Co						

Figura 4 Dosis óptima de coagulante.

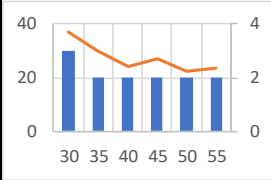


Elaboró: Roberto Pillajo

**Tabla 20. Prueba de jarras #5**

ISO - 9001		PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO "PRUEBA DE JARRAS" CODIGO: FGAP-70	
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	Coagulante:
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	Volumen de agua para las jarras: 1 litro

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE		
AGUA CRUDA	1	30	2	3,68	30	SULFATO DE ALUMINIO mg/l <b>50</b>		Roberto P.
	2	35	2	2,98	20			
	3	40	4	2,41	20			
	4	45	4	2,68	20			
	5	50	4	2,26	20			
	6	55	4	2,37	20			
Turbiedad:								
16,58 NTU								
Color:								
80 Pt-Co								

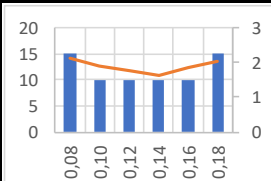
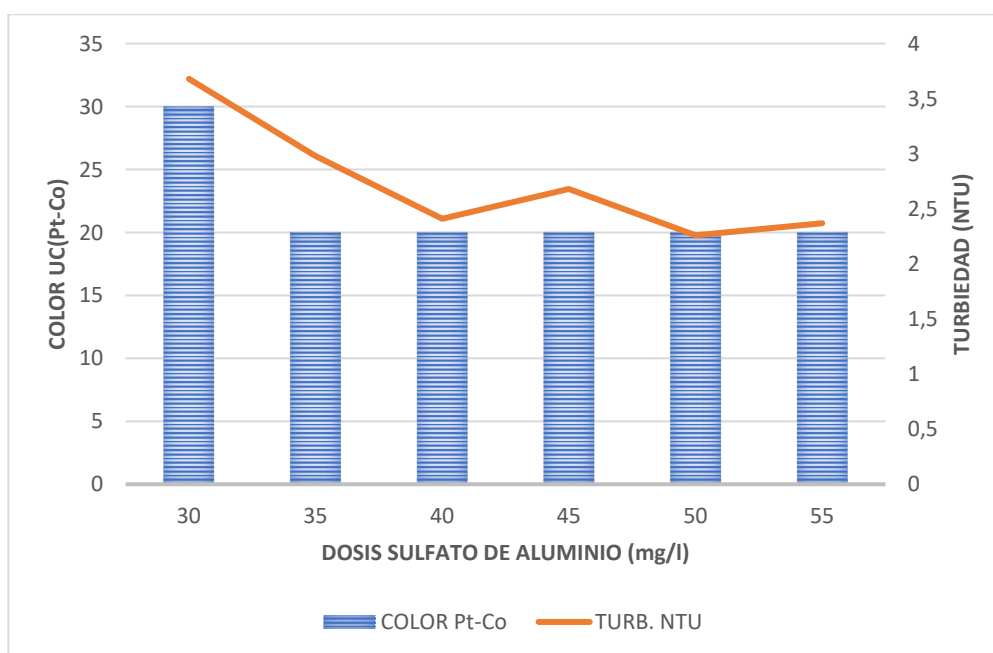

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE		
AGUA CRUDA	1	0,08	4	2,11	15	POLIMERO mg/l <b>0,14</b>		Roberto P.
	2	0,10	4	1,89	10			
	3	0,12	6	1,75	10			
	4	0,14	6	1,63	10			
	5	0,16	6	1,85	10			
	6	0,18	6	2,03	15			
Turbiedad:								
16,58 NTU								
Color:								
80 Pt-Co								

Figura 5 Dosis óptimo de coagulante

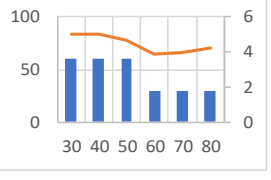


Elaboró: Roberto Pillajo

**Tabla 21. Prueba de jarras #6**

ISO - 9001		PLANTA DE TRATAMIENTO PALUGUILLO "PRUEBA DE JARRAS" CODIGO: FGAP-70	
REV	3		
FECHA	2019 - AGO		

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Mezcla rápida: 100 rpm 1 minuto	Coagulante:
Mezcla lenta: 30 rpm/ 15 minutos	Sulfato de Aluminio 1ml = 10 mg
Sedimentación: 0 rpm/ 15 minutos	Volumen de agua para las jarras: 1 litro

FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE	
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	COAGULANTE			
AGUA CRUDA	1	30	4	5,02	60	SULFATO DE ALUMINIO mg/l <b>60</b>		Roberto P.	
	2	40	4	4,98	60				
	Turbiedad:	3	50	4	4,64				60
	17,20 NTU	4	60	4	3,87				30
	Color:	5	70	6	3,99				30
	120 Pt-Co	6	80	6	4,22				30

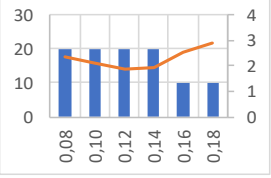
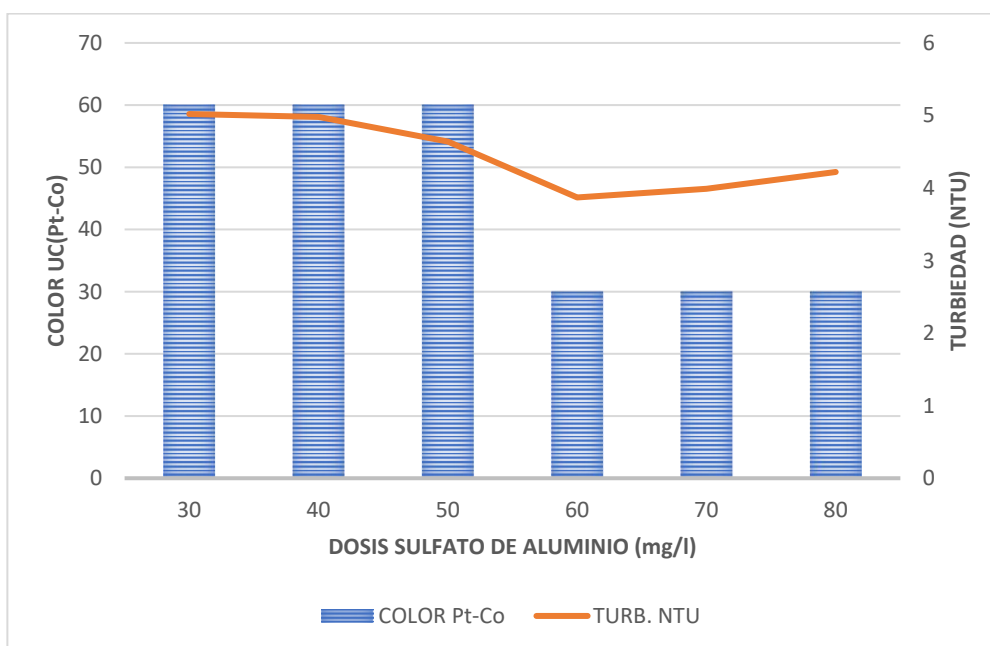
FECHA:	N°	DOSIS	I.W.	TURB.	COLOR	DOSIS ÓPTIMA	OBSERVACIONES	RESPONSABLE	
HORA:	JARRA	mg/l		NTU	Pt-Co	FLOCULANTE			
AGUA CRUDA	1	0,08	4	2,36	20	POLIMERO mg/l <b>0,12</b>		Roberto P.	
	2	0,10	4	2,09	20				
	Turbiedad:	3	0,12	4	1,87				20
	17,2 NTU	4	0,14	6	1,95				20
	Color:	5	0,16	6	2,55				10
	120 Pt-Co	6	0,18	6	2,87				10

Figura 6 Dosis óptima de coagulante.



Elaboró: Roberto Pillajo

### Anexos Capítulo 4.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON TRAZADORES

**Tabla 22.** *Tiempo de retención*

TIEMPO RETENCIÓN FLOCULADOR N°1		TIEMPO RETENCIÓN FLOCULADOR N°2		TIEMPO RETENCIÓN FLOCULADOR N°3		TIEMPO RETENCIÓN FLOCULADOR N°4	
t (min)	Conduc μS/cm	t (min)	Conduc μS/cm	t (min)	Conduc μS/cm	t (min)	Conduc μS/cm
0	152	0	152	0	152	0	152
1	152	1	152	1	152	1	152
2	152	2	152	2	152	2	152
3	153	3	153	3	153	3	153
4	153	4	153	4	153	4	153
5	153	5	153	5	153	5	153
6	153	6	153	6	153	6	153
7	153	7	153	7	153	7	153
8	153	8	153	8	153	8	153
9	153	9	153	9	153	9	153
10	153	10	153	10	153	10	153
11	154	11	154	11	154	11	154
12	154	12	154	12	154	12	154
13	154	13	154	13	154	13	154
14	154	14	154	14	154	14	154
15	154	15	154	15	154	15	154
16	154	16	154	16	154	16	154
17	154	17	154	17	154	17	154
18	154	18	154	18	154	18	154
19	155	19	155	19	155	19	155
20	155	20	155	20	156	20	162
21	156	21	156	21	165	21	197
22	165	22	173	22	197	22	201
23	197	23	214	23	314	23	289
24	314	24	341	24	470	24	364
25	470	25	501	25	778	25	498
26	778	26	768	26	943	26	801
27	943	27	895	27	1026	27	987
28	1026	28	995	28	1051	28	1038
29	1042	29	1002	29	1014	29	1048
30	887	30	1062	30	998	30	1009
31	686	31	835	31	702	31	984
32	529	32	601	32	661	32	789
33	354	33	384	33	426	33	439
34	289	34	299	34	301	34	352
35	232	35	210	35	280	35	253
36	186	36	179	36	221	36	201
37	172	37	169	37	184	37	189
38	163	38	160	38	169	38	171
39	159	39	158	39	160	39	158
40	158	40	157	40	159	40	159
41	157	41	157	41	156	41	156
42	157	42	157	42	156	42	156
43	156	43	156	43	156	43	154
44	156	44	156	44	156	44	156
45	155	45	156	45	156	45	155
46	155	46	154	46	155	46	155
47	156	47	155	47	154	47	157
48	156	48	155	48	154	48	157
49	157	49	155	49	156	49	156
50	157	50	156	50	154	50	156
51	157	51	157	51	154	51	155
52	156	52	156	52	155	52	156
53	156	53	156	53	155	53	156
54	155	54	155	54	155	54	154
55	154	55	153	55	154	55	154

Elaboró: Roberto Pillajo

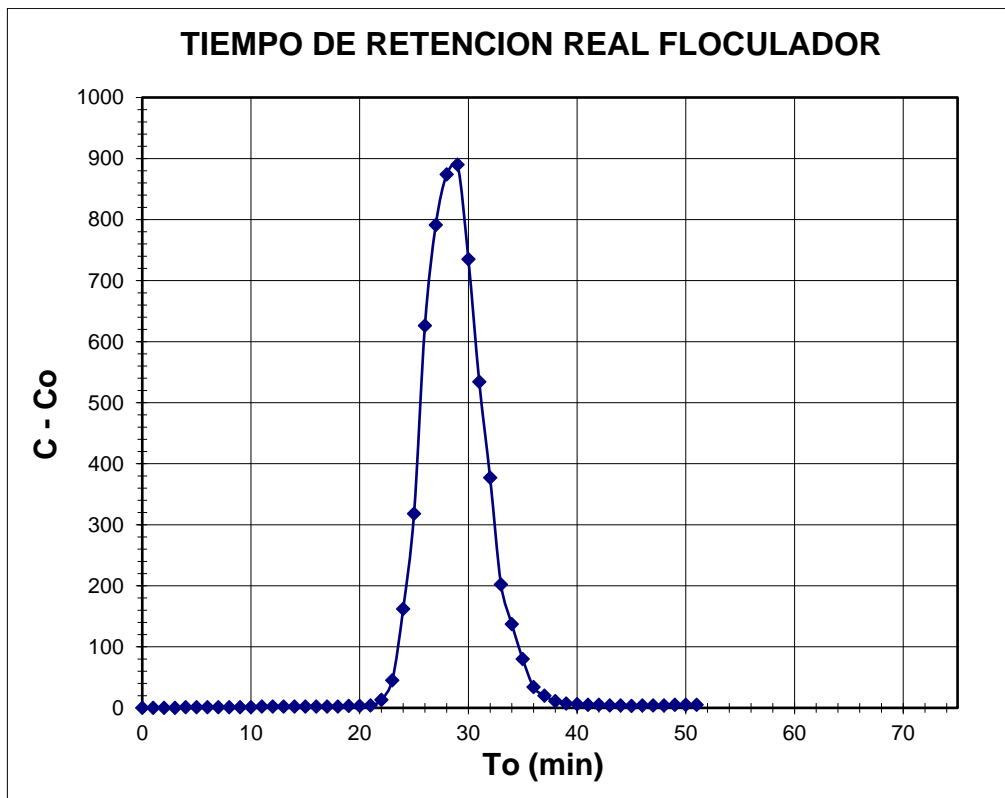
**Tabla 23. Prueba de trazadores.**
**DATOS INICIALES**

**CAUDAL DE OPERACIÓN** 0, 10836 m<sup>3</sup>/ s  
**VOLUMEN UTIL** 238, 42 m<sup>3</sup>  
**T.RET.(min)** 36, 67  
**Co (mg/l)** 152 i ni ci al

NUM. DE MUESTRA	TIEMPO DE MUEST. (MIN)	(T/To)	CONC. (MG/L)	(C-Co)	SUM (C-Co)	F (t)	(1-F (t))
0	0	0,00	152	0	0	0,00	1,00
1	1	0,03	152	0	0	0,00	1,00
2	2	0,05	152	0	0	0,00	1,00
3	3	0,08	152	0	0	0,00	1,00
4	4	0,11	153	1	1	0,02	1,00
5	5	0,14	153	1	2	0,03	1,00
6	6	0,16	153	1	3	0,05	1,00
7	7	0,19	153	1	4	0,07	1,00
8	8	0,22	153	1	5	0,08	1,00
9	9	0,25	153	1	6	0,10	1,00
10	10	0,27	153	1	7	0,12	1,00
11	11	0,30	154	2	9	0,15	1,00
12	12	0,33	154	2	11	0,19	1,00
13	13	0,35	154	2	13	0,22	1,00
14	14	0,38	154	2	15	0,25	1,00
15	15	0,41	154	2	17	0,29	1,00
16	16	0,44	154	2	19	0,32	1,00
17	17	0,46	154	2	21	0,35	1,00
18	18	0,49	154	2	23	0,39	1,00
19	19	0,52	155	3	26	0,44	1,00
20	20	0,55	155	3	29	0,49	1,00
21	21	0,57	156	4	33	0,56	0,99
22	22	0,60	165	13	46	0,77	0,99
23	23	0,63	197	45	91	1,53	0,98
24	24	0,65	314	162	253	4,26	0,96
25	25	0,68	470	318	571	9,61	0,90
26	26	0,71	778	626	1197	20,14	0,80
27	27	0,74	943	791	1988	33,45	0,67
28	28	0,76	1026	874	2862	48,16	0,52
29	29	0,79	1042	890	3752	63,13	0,37
30	30	0,82	887	735	4487	75,50	0,24
31	31	0,85	686	534	5021	84,49	0,16
32	32	0,87	529	377	5398	90,83	0,09
33	33	0,90	354	202	5600	94,23	0,06
34	34	0,93	289	137	5737	96,53	0,03
35	35	0,95	232	80	5817	97,88	0,02
36	36	0,98	186	34	5851	98,45	0,02
37	37	1,01	172	20	5871	98,79	0,01
38	38	1,04	163	11	5882	98,97	0,01
39	39	1,06	159	7	5889	99,09	0,01
40	40	1,09	158	6	5895	99,19	0,01
41	41	1,12	157	5	5900	99,28	0,01
42	42	1,15	157	5	5905	99,36	0,01
43	43	1,17	156	4	5909	99,43	0,01
44	44	1,20	156	4	5913	99,50	0,01
45	45	1,23	155	3	5916	99,55	0,00
46	46	1,25	156	4	5920	99,61	0,00
47	47	1,28	156	4	5924	99,68	0,00
48	48	1,31	156	4	5928	99,75	0,00
49	49	1,34	157	5	5933	99,83	0,00
50	50	1,36	157	5	5938	99,92	0,00
51	51	1,39	157	5	5943	100,00	0,00

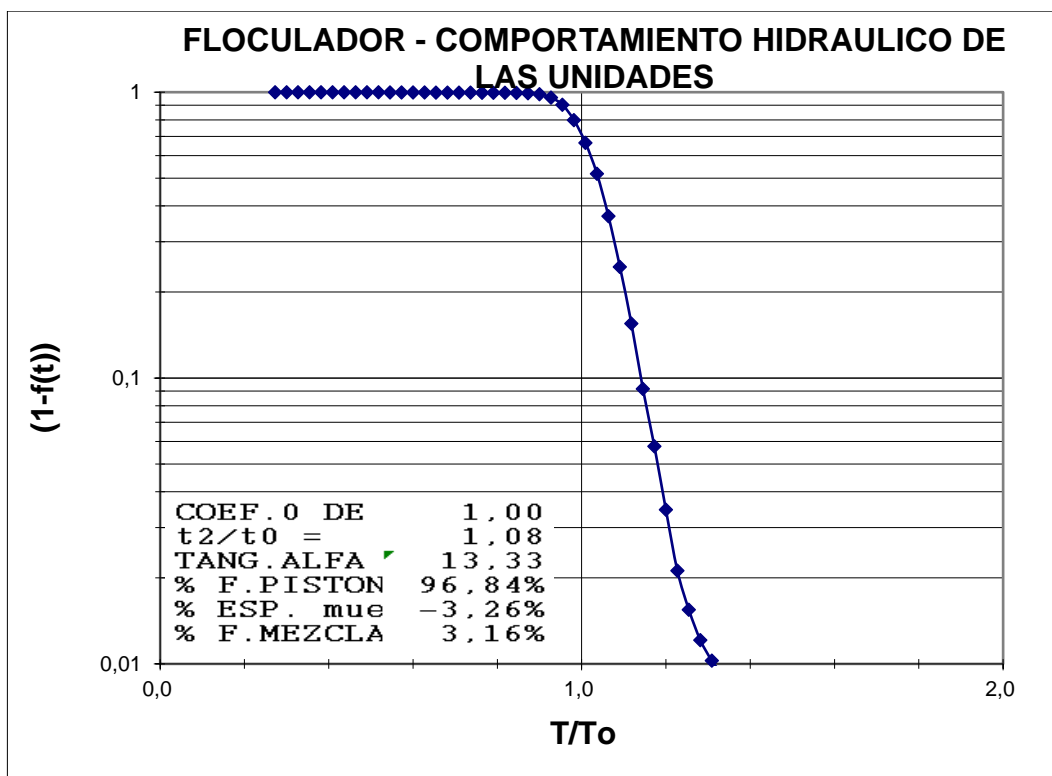
Elaboró: Roberto Pillajo

Figura 7 Variación de conductividad.



Elaboró: Roberto Pillajo

Figura 8 Prueba de trazadores. Método de Wolf y Resnick.



Elaboró: Roberto Pillajo

## 5.1 DISEÑO DE LOS FLOCULADORES

Se han diseñado dos floculadores hidráulicos de flujo horizontal por módulo, por lo tanto, el caudal por cada uno de los floculadores es:

$$Q_f = Q_m/2 = 0,150 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cada floculador se ha diseñado con tres zonas de floculación con gradientes de velocidad de 38, 31 y 20  $\text{s}^{-1}$ .

El volumen de cada floculador es:

$$V_f = Q_f \times t_f \times 60 = 0,15 \times 24 \times 60 = 216 \text{ m}^3$$

Cada floculador se ha diseñado con una longitud medida interiormente de 15,65 m, con 3 zonas de 3,85 m de ancho, con tabiques transversales intermedios de 0,15 m de espesor de manera que se forman canales de 0,60 m de ancho en la primera zona, de 0,68 m en la segunda zona y 0,90 m en la tercera; el espaciamiento de la punta del tabique a la pared es 1,5 veces el ancho del canal. La altura total del floculador es de 2,00 m, con un calado del agua de 1,50 m, de manera que el borde libre en la última zona es de 0,50 m.

El tiempo de retención en cada zona es igual al tiempo de retención en el floculador dividido para el número de zonas:

$$t_{rz} = t_{rf}/n_z = 24/3 = 8 \text{ minutos}$$

En la primera zona se tienen las siguientes condiciones:

Radio hidráulico:

$$R_h = \frac{A}{P_m} = \frac{b \times h}{2h + b} = \frac{0,6 \times 1,5}{3,0 + 0,6} = 0,250 \text{ m}$$

Velocidad entre tabiques:

$$v = \frac{Q}{b \times h} = \frac{0,150}{0,6 \times 1,5} = 0,166 \text{ m/s}$$

Longitud teórica de canales:

$$L_c = v \times t_{rz} = 0,166 \times 8 \times 60 = 79,73 \text{ m}$$

El número de canales es igual a la longitud total de canales en la zona dividida para la longitud de cada canal que es igual al ancho interior del floculador:

$$n_c = L_c / 3,85 = 21 \text{ canales}$$

El número de tabiques es igual a:

$$n_t = n_c - 1 = 21 - 1 = 20 \text{ tabiques}$$

La separación de la punta del tabique a la pared es:

$$b_p = 1,5 \times b = 1,5 \times 0,60 = 0,90 \text{ m}$$

La pérdida de carga en las vueltas es igual a:

$$h_v = 3 \frac{n_t v^2}{2g}$$

siendo:

$n_t$  = número de tabiques en la zona

$v$  = velocidad en los tramos rectos o canales

$$h_v = 3 \frac{20 \times 0,166^2}{19,62} = 0,084 \text{ m}$$

La pérdida de carga en los canales se calcula con la fórmula de Manning:

$$h_c = L_c \left( \frac{n v}{R_h^{2/3}} \right)^2$$

donde

$n$  = coeficiente de Manning, igual a 0,013

$v$  = velocidad en el canal en m/s

$R_h$  = radio hidráulico en m

$L_c$  = Longitud total de canales en la zona



$$h_c = 21 \times 3,85 \left( \frac{0,013 \times 0,166}{0,250^{2/3}} \right)^2 = 0,002 \text{ m}$$

Por lo tanto, las pérdidas de carga total en la zona son:

$$h_z = 0,086 \text{ m}$$

El gradiente de velocidad se calcula con la fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_z}{\mu t_z}} = 38 \text{ s}^{-1}$$

donde:

$h_z$  = pérdida de carga total en la zona, m

$t_z$  = tiempo de retención en la zona, s

**Tabla 24.** *Parámetros floculadores*

En la siguiente tabla se muestran un resumen de los parámetros para cada zona, donde los valores correspondientes a la segunda y tercera zona se han calculado con el mismo procedimiento.

PARAMETRO	1ª ZONA	2ª ZONA	3ª ZONA
Separación entre tabiques, m	0,60	0,68	0,90
Separación de la punta del tabique a la pared, m	0,90	1,02	1,20
Radio hidráulico, m	0,250	0,278	0,347
Velocidad entre tabiques, m/s	0,166	0,147	0,111
Número de canales	21	18	14
Número de tabiques	20	17	13
Longitud real total de canales, m	80,85	69,30	53,90
Pérdida de carga en las vueltas, m	0,084	0,056	0,024
Pérdida de carga en los canales, m	0,002	0,001	0,000
Pérdida de carga total, m	0,0087	0,057	0,025
Gradiente de velocidad, s <sup>-1</sup>	38	31	20

La pérdida de carga total en todo el floculador resulta igual a 0,169 m

## 6. CONCLUSIONES

- Los datos obtenidos de la unidad de floculación fueron su volumen útil, siendo éste  $953.68 \text{ m}^3$  en el momento del ensayo, y el caudal que circula diario es de aproximadamente  $0.520 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo este último calculado mediante una ecuación en la que se necesitaba la lectura del tirante de agua en la sección convergente del aforador Parshall, y aunque no hay datos técnicos de la unidad evaluada para determinar su eficiencia, con los datos registrados se procedió a determinar el tiempo teórico de retención, siendo éste un parámetro muy importante en la evaluación del floculador .
- Mediante el ensayo de trazadores se logró establecer que el floculador cuenta con un flujo 96.84% pistón, flujo mezclado 3.16% y no se registraron zonas muertas, lo cual indica que tiene una eficiencia recomendada para este tipo de unidad de flujo horizontal, ya que este tipo de unidades debe poseer un porcentaje alto de flujo pistón para confirmar su eficacia y de esta manera seguir operando de manera normal, sabiendo que el flujo que ingresa está circulando de manera correcta y no se están formando cortocircuitos dentro del reactor, lo que al final genera un buen funcionamiento.
- El floculador funciona hidráulicamente en condiciones óptimas, cuando trabaja con un caudal de  $0.520 \text{ m}^3/\text{s}$  caudal que procesa con normalidad y con el caudal que se realizó la evaluación, dando un tiempo de retención de 29 minutos, se comprobó que al procesar  $0.600 \text{ m}^3/\text{s}$  el tiempo de retención baja a 24 min, motivo por el cual no se realiza la floculación eficientemente consecuentemente tiende romper el floc y pasa directamente a los sedimentadores y por ende a los filtros bajando la carrera de estos.

- Del análisis de la turbiedad se puede observar que el 73% del tiempo el agua cruda tiene registros menores a 5 NTU y si se observa la tabla de registros de frecuencias en los anexos, la mayoría de los datos existentes proporcionan información de turbiedades considerablemente bajas en el transcurso de la mayoría del año, lo que demuestra que la fuente de abastecimiento es de buena calidad.
- Del análisis se concluye que se debe realizar un mantenimiento a las paredes que conforman los floculadores, se debe cambiar la pendiente del piso para disminuir el tiempo de retención para caudales altos y así evitar que el floc se pase directo a los sedimentadores.

## REFERENCIAS

---

M. G. S. Pugo, «Evaluación del sistema de agua potable de la planta de tratamiento de aguas "Chilibulo",» 2017. [En línea]. Available:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14519/1/UPS%20-%20ST003167.pdf>.

J. Vargas, Diseño, implementación y estudio hidrodinámico de un reactor biológico de cargas secuenciales de flujo a pistón para tratar aguas residuales sintéticas, 2008.

E. Hernández, 2003. [En línea]. Available:

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2323\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2323_C.pdf).

J. Calles-García y P. González-Pérez, La Biblia del Footprinting, 2011.

www.elhacker.net, «www.elhacker.net,» [En línea]. Available:

[https://www.elhacker.net/trucos\\_google.html](https://www.elhacker.net/trucos_google.html).

H. E. Hudson, Water Clarification Process practical Designs and Evaluation, Nueva York: Van Nostrand, 1981.

Mapama, 2016. [En línea]. Available:

[http://www.mapama.gob.es/es/\\_includes/errores/404.aspx](http://www.mapama.gob.es/es/_includes/errores/404.aspx).

A. Salazar, 2016. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/18359868-Resumen-la-potabilizacion-del-agua-consiste-en-la-eliminacion-de-compuestos-volaticos.html>.

E. Hernández, 1991. [En línea]. Available:

<http://pendientedemigracion.ucm.es/BUCM/tesis/19911996/X/1/X1000101.pdf>.

J. Arboleda, Teoría y Práctica de la Purificación del agua, 1 ed., Bogotá, 1992, p. 684.

G. Galvis y J. Pérez, Manual de Instrucción Curso de Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, Tomo VII ed., vol. VII, Cuenca: OPS-OMS, 1985.

J. Haarhoff, Diseño de Floculadores Hidráulicos Abiertos de Flujo Horizontal, 40 ed., vol. 40, AIDIS, 1998.

C. d. V. Lidia, Operación Mantenimiento y control de calidad, Lima, 2008 .

C. d. V. Lidia, Evaluación de Plantas de Tecnología Apropriada, Lima, 2008, p. 283.

C. Richter, Coagulación, Curitiva: Sanepar , 1992.

Schaum'S, Teoria y problemas de Estadística, Mc Graw-Hill , 1970, p. 357.

Medwave, 2011. [En línea]. Available:

<http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/4934?ver=sindisenio>.

M. Sasa, 2015. [En línea]. Available:

[http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/131281/MJSM\\_TESIS.pdf.txt?sequence=5](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/131281/MJSM_TESIS.pdf.txt?sequence=5).

Docstoc, 2014. [En línea]. Available: [http://www.docstoc.com/docs/155387752/gt\\_profile\\_es](http://www.docstoc.com/docs/155387752/gt_profile_es).

M. Mejía, 2001. [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatesis/mireya.pdf>.

Paho, 2010. [En línea]. Available:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/capitulo3.pdf>.

L. Vargas, 2004. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/309911272/Tratamiento-de-Agua-Para-Consumo-Humano>.

Ministerio de Desarrollo Económico, 2000. [En línea]. Available:

<https://es.scribd.com/document/167678562/RAS-2000>.

Cepis, 2017. [En línea]. Available: <http://cepis.org.pe/intoxicacion-plomo-deteccion-prevencion/>.

Tphs, 2010. [En línea]. Available:

<https://tphs.info/lib/exe/fetch.php/wiki:autor:kulakov:kniga.pdf>.

## ANEXOS

# PLANO DEL SISTEMA DE FLOCULACIÓN