



Evaluación hidráulica del sistema de tratamiento de agua potable  
ACUALCOS E.S.P

**Jesús Daniel Pérez Sánchez**

Programa de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C.  
2023

Evaluación hidráulica del sistema de tratamiento de agua potable  
ACUALCOS E.S.P

Jesús Daniel Pérez Sánchez

Documento presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Civil

Directores:

Codirector Temático:

Wilmar Jair Gómez Ríos

Codirector Metodológico:

Doctor, Ingeniero, Didier Camilo Sierra Flórez

Programa de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C.  
2023

## EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ACUALCO E.S.P

### *HYDRAULIC EVALUATION OF THE ACUALCO E.S.P. DRINKING WATER TREATMENT SYSTEM*

Pérez Sánchez, Jesús Daniel;

<sup>1</sup> Universidad Antonio Nariño, Colombia, jperez66@uan.edu.co

<sup>2</sup> Universidad Antonio Nariño, Colombia, dsierra23@uan.edu.co

**Resumen:** La evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., se ejecutó con el fin de verificar si las estructuras hidráulicas de la PTAP cumplían con los parámetros de diseño establecidos en el RAS – 2000, Se evaluaron estructuras como: Sedimentador, floculador y zonas de filtros (zona de filtros 1 y 2) teniendo en cuenta cargas hidráulicas y tiempos de detención, para llevar a cabo este proyecto investigativo se empezó por recopilar la información secundaria existente con la información obtenida in situ para posteriormente organizarla y analizarla, esto fue un trabajo arduo debido a que no se tenía mucha información secundaria y fue necesario realizar trabajos de mediciones para poder generar un trabajo compacto; en la revisión hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable se tuvieron en cuenta las dimensiones de las estructuras para poder hallar áreas, volúmenes, cargas superficiales, tiempos de detención, velocidad del agua y otras variables necesarias para poder ejecutar una evaluación hidráulica correcta, para finalizar se formularon varias recomendaciones para que se tengan en cuenta al momento de optimizar la planta de tratamiento de agua y su funcionamiento.

**Palabras claves:** Agua, sedimentación, floculación, filtración, almacenamiento, distribución, aforo, potabilización, tubería, sedimentos, lodos, floculante, hidráulica, tratamiento, sistema.

**Abstract:** The hydraulic evaluation of the ACUALCOS E.S.P. drinking water treatment plant was carried out in order to know if the hydraulic structures of the PTAP complied with the design parameters established in the RAS - 2000. Structures such as: Sedimentator, flocculator and filter zones taking into account hydraulic loads and detention times, to carry out this investigative project we began by collecting the existing secondary information with the information obtained in situ to later organize and analyze it, this was arduous work because it was not It had a lot of secondary information and it was necessary to carry out measurement work to be able to generate a compact work; In the hydraulic review of the drinking water treatment plant, the dimensions of the structures were taken into account in order to find areas, volumes, surface loads, detention times, water speed and other variables necessary to be able to carry out a correct and correct hydraulic evaluation. Finally, several recommendations were idealized to be taken into account when optimizing the water treatment plant and its operation.

**Key words:** Water, sedimentation, flocculation, filtration, storage, distribution, capacity, purification, pipes, sediments, sludge, flocculant, hydraulics, treatment, system.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación hidráulica de una planta de tratamiento de agua potable garantiza el funcionamiento y disponibilidad del recurso hídrico. En un mundo donde el acceso a agua potable segura es primordial para la salud de la población, es esencial contar con sistemas de tratamiento eficientes y efectivos. Esta tiene como objetivo analizar y evaluar el desempeño hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P., considerando aspectos como la capacidad de producción, la distribución, pérdidas y eficiencia del sistema. A través de la aplicación de metodologías y herramientas específicas, se busca identificar posibles deficiencias y proponer mejoras que permitan optimizar el funcionamiento del sistema, asegurando así el suministro de agua potable de calidad a la comunidad.

A través de esta evaluación hidráulica, se espera obtener resultados que contribuyan a la toma de decisiones informadas en la gestión y planificación de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P. Asimismo, se busca promover la implementación de medidas de mejora que permitan garantizar un suministro continuo y seguro de agua potable a la población, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos.

El objetivo se basa en evaluar hidráulicamente la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P., con el propósito de identificar oportunidades de mejora y optimización. A través de esta investigación, se busca contribuir al desarrollo de soluciones eficientes y sostenibles que aseguren el acceso a agua potable de calidad para los barrios San Luis Altos del cabo, San Isidro y La Sureña.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua es un bien natural importante para los seres humanos y a su vez un derecho fundamental para la permanencia y desarrollo de la vida. Asegurarse del abastecimiento del agua en la población de forma continua, suficiente y aceptable en términos de calidad, para el cubrimiento de las necesidades básicas de consumo e higiene requeridas, ha venido siendo un factor clave para la humanidad, y un tema de gran importancia para los territorios y organizaciones (Benítez & Pichimata, 2016), es por esto, que se realizó un análisis hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCO E.S.P., debido a que es flagelada por problemáticas como lo son las pérdidas de caudal, la calidad del agua no es la más apta para el consumo humano y por último no tiene un flujo de caudal correcto.

El agua es fundamental para la subsistencia de la vida humana en el mundo, puesto que resulta un pieza importante, no solo para el preciso funcionamiento económico e industrial de las poblaciones, sino que también resulta ser un pilar fundamental para el desarrollo idóneo de la vida (Molina & Zúñiga, 2020), por consiguiente se analizó la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P., con el fin de encontrar posibles problemas a los que no se les estaban dando la debida importancia y por tal motivo la comunidad se estaba viendo afectada en cuanto a condiciones de calidad y salubridad del agua potable.

¿Cómo mejorar el proceso de operatividad de la PTAP mediante la evaluación hidráulica?

## ESTADO DEL ARTE

A continuación, se recopilan trabajos investigativos que tengan objetivos similares al presente trabajo o simplemente que, a juicio del autor, puedan contribuir a la selección de alternativas ideales para la evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P. Esta información se recopiló a través de bases de datos como Scopus de la Universidad Antonio Nariño. También, las búsquedas se realizaron en repositorios como Scielo, Google Académico y recursos públicos de instituciones educativas.

En el primer caso, se referencia, la tesis titulada *Evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Toguí-Boyacá*, presentada por María Fernanda Higuera Cabrejo y Julián Andrés Parra Buitrago, en el 2018 (Cabrejo & Buitrago, 2018) este trabajo investigativo tiene como objetivo ejecutar un estudio hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Toguí. Esta investigación fue ejecutada mediante cinco fases a través de las cuales se pudo definir el comportamiento de la PTAP en la ciudad de Toguí. En la primera fase se realizaron investigaciones previas relacionadas con el tema a tratar. En la fase dos realizaron una visita de campo a la PTAP del municipio para corroborar el comportamiento hidráulico, luego de esto recopilaron la información proporcionada por la alcaldía de la ciudad, para luego pasar a la cuarta fase, donde se analiza la información recopilada y por último se presentan las conclusiones y recomendaciones a la PTAP (Cabrejo & Buitrago, 2018) de esta manera se resalta la importancia de dicho trabajo de grado debido a que la metodología utilizada es semejante a la investigación, no solo en el tema del proyecto aplicado sino que también en la solución del problema por lo que este trabajo sirvió como guía para llevar a cabo la evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P.

Siguiendo con la investigación, se examinó el estudio de Humberto Carlos Noya Romero y José Luis Pulgar Anillo (2016) titulada *Diagnóstico rápido para evaluar el funcionamiento hidráulico de plantas potabilizadoras convencionales* (Romero & Anillo, 2016). Esta investigación se inclina primordialmente en la implementación de plantas potabilizadoras convencionales con proyección a mecanizar las herramientas que evalúan el funcionamiento hidráulico de las plantas de

tratamiento de agua potable convencionales, para proporcionar un diagnóstico rápido al momento de comparar parámetros de diseño y operación de las plantas, haciendo uso del RAS-2000 y la resolución 0330 del 2017 (Romero & Anillo, 2016). Este trabajo sirvió como guía en temas y conceptos básicos como cargas hidráulicas y tiempos de detención.

Para finalizar el estado del arte, se considera la utilización de una metodología evaluativa basada en la capacidad de examinar las estructuras con base a los parámetros de diseño estipulados en RAS - 2000 y la Resolución 0330 del 2017. Teniendo en cuenta que el agua captada por la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., proviene del Río Tuesacá, siendo este el mayor proveedor de agua con un caudal de 16.5 l/s (Sierra, 2023).

## MARCOS REFERENCIAS

### MARCO TEÓRICO - CONCEPTUAL

Para este proyecto de grado se definió la variable para el estudio, las cuales son de gran importancia para la creación del marco teórico - conceptual, la cual es importante para el diagnóstico de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

**Tabla 1**

Variable de estudio

<b>Programa</b>	Ingeniería Civil
<b>Línea de investigación</b>	Escuela Territorial del Agua
<b>Variable de análisis</b>	Tratamiento de agua

*Fuente:* Elaboración propia, 2023

Se deben tener en cuenta teorías que tienen un vínculo directo con el tema para lograr una mejor comprensión y estar de acuerdo con el proyecto.

### Agua pura

El agua es un elemento de la naturaleza compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (*IV\_FIN\_107\_TE\_Romero\_Giraldez\_2021.pdf*, s. f.). Es aquella que no ha sido disuelta con ninguna clase de químico y tampoco tiene elementos en suspensión. En la naturaleza este fenómeno no se podrá descubrir, puesto que este recurso hídrico tiene una capacidad muy alta de combinarse con otros elementos (Jiménez & Jiménez, 2017).

### Agua cruda

Es aquella que no ha sido sujeta a ningún tipo de tratamiento (Jiménez & Jiménez, 2017). También, se refiere al agua que encontramos en el ambiente, como lluvia, superficial, subterránea, océanos, etc., que no ha sido tratada ni transformada en su estado natural (Puglla, 2017).

## **Agua subterránea**

Este tipo de aguas hace parte de la fuente de agua asequible para uso humano, la mayoría de estudios de agua subterránea reflejan que el agua fluye de gorma horizontal (*gonzalez\_a.pdf*, s. f.).

## **Agua pluvial**

Para las zonas rurales o zonas flageladas por la falta de sistemas de abastecimientos, las aguas pluviales se convierten en una alternativa como fuente de abastecimiento, solo cuando no se tiene agua de calidad (*UPS - TTS116.pdf*, s. f.).

## **Agua potable**

El agua potable es aquella que ya ha sido sujeta a procesos para su tratamiento y está lista para el consumo humano debido a que sus facultades físicas, químicas y de salubridad son idóneas para ello (Jiménez & Jiménez, 2017).

## **Aguas lluvias**

Las aguas lluvias provienen de las precipitaciones y debido a su efecto de lavado sobre los tejados, calles y demás pueden contener y cantidad significativa de solidos suspendido (Palacios, s. f.).

## **Dureza del agua potable**

La dureza del agua acta para el consumo humano no es deseable, en la actualidad hay varios métodos como el proceso de Cal-sosa, método de intercambio iónico, destilación entre otros (Madhusudhan et al., 2023).

## **Tratamiento**

Abarca todos los procesos químicos, físicos y mecánicos que hacen que el agua cruda adquiera todas las características para convertirse en agua potable apta para el consumo humano (187495739.pdf, s. f.).

## **Plantas de tratamiento de agua potable**

Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) es un grupo de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de forma que se vuelva apta e idónea para que la humanidad la pueda consumir (Cabrejo & Buitrago, 2018). Existen dos tipos de PTAP, las convencionales y las compactas.

### **Plantas convencionales**

Es un sistema de tratamiento integrado que agrupa todos los procesos para lograr que el agua sea potable, como lo son: Coagulación, floculación, mezcla rápida, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección (Bautista, 2017).

### **Plantas compactas**

La planta modular es un sistema integrado de tratamientos en varios procesos y métodos que incluyen todos los métodos requeridos para obtener agua potable. necesitan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente adaptándoles módulos de clarificación y de filtración con el fin de potencializar su función (Bautista, 2017).

El procedimiento de potabilización del agua en una planta de tratamiento de agua potable se lleva a cabo mediante varios pasos y/o procesos, los cuales son:

## **Captación**

El término de captación indica y menciona la acción de recoger el agua directamente de una fuente hídrica natural utilizando una estructura especializada, dicha estructura recibe el nombre de bocatoma (Molina & Zúñiga, 2020).

## **Aducción**

Acción de conducir o transportar el agua cruda, ya sea a flujo libre o presión desde el origen de la captación hasta el desarenador (Molina & Zúñiga, 2020).

## **Bocatoma**

Todos los sistemas de captación se componen de una bocatoma ya sea tipo lateral, bocatomas directas, bocatomas con barrajes, bocatoma tirolesa, entre otros. Todos cumplen la función de recoger el recurso hídrico y son la primera estructura de una PTAP (García & Garcés, s. f.).

## **Rejilla**

Sirve para retener material de gran tamaño y es la estructuras principal dentro de los bocatomas o cajas de captación (González, 2004)

## **Cámara de descarga con vertedero**

Su función es medir el caudal y la caída libre teniendo en cuenta que también sirve como punto de aplicación de coagulantes (DESTEFANO\_MOLERO\_JAVIER\_PLANTA\_TRATAMIENTO\_AGUA\_APURIMAC.pdf, s. f.).

## **Canal Parshall**

En plantas de tratamiento de agua potable se utiliza el canal Parshall como un mecanismo que facilita la mezcla rápida para la dispersión de coagulantes, la estructura hidráulica consta de una sección convergente, un cuello o garganta que genere la estrangulación y una sección divergente (Alcides, s. f.)

## **Floculación**

Proceso que facilita el contacto, el contacto con las partículas desestabilizadas con la ayuda de una mezcla lenta, ya que, si la mezcla es demasiado intensa, los flóculos se pueden romper. Consiste en la agitación de la masa coagulada, con el fin de permitir el crecimiento y la aglomeración de los flóculos formados hasta adquirir un tamaño y peso suficiente para la sedimentación (*MontañoPichimataMariaIsabel2016.pdf*, s. f.).

Para el proceso de floculación existen tres tipos de floculadores como lo son:

### **Floculadores hidráulicos**

Estos mecanismos usan el cambio de dirección de un flujo del agua, inducido por diferentes mecanismos, para crear la turbulencia suficiente para promover la formación del floc y derivan su energía de la carga de velocidad que el líquido adquiere en su tránsito por un conducto (Calderón et al., s. f.). Dentro de los floculadores hidráulicos hay cinco clases o tipos de floculadores como lo son: floculador de flujo horizontal, floculador de flujo vertical, el floculador Alabama, de flujo helicoidal y el floculador de lechos porosos.

### **Floculadores mecánicos**

Los floculadores mecánicos son los que demandan un equipo electromecánico para mover un agitador de paletas o álabes. En el nivel de complejidad del sistema bajo (Calderón et al., s. f.).

### **Floculadores hidromecánicos**

Estos mecanismos emplean y aprovechan la energía hidráulica a la entrada del floculador para darle poder a una turbina de impulso semejante a la rueda o turbina Pelton la cual puede virar con baja cabeza hidráulica. Esta rueda transfiere su movimiento de rotación a su eje, el cual va acomodado en posición horizontal, y este a su vez a través de poleas y correas de poliuretano, transfieren su movimiento rotatorio a un agitador de paletas semejante al de los floculadores rotatorios convencionales de flujo horizontal (Calderón et al., s. f.).

### **Desarenador**

Es la unidad de una planta de tratamiento de agua potable que cumple con la función de separar del agua cruda, la arena y partículas en suspensión gruesa con el único fin de eludir que se produzcan depósitos en las obras de conducción, defender y salvaguardar a las bombas de la abrasión y prevenir sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento disminuyendo así la calidad del agua para consumo (*ICI\_295.pdf*, s. f.).

### **Filtración**

Proceso por el cual se obtiene la clarificación del agua, su función es por medios porosos, por lo general estos medios son arena y antracita. Estos se encargan de quitar el porcentaje de flóculos que quedan después de que la masa de agua cruce por los procesos de coagulación y sedimentación, ya que son estos procesos se logra quitar cerca del 90% de la turbiedad y el color (Villamil, 2021). En otras palabras, la filtración se puede definir como el mecanismo de tamizado o micro-cribado por acción conjunta de aspectos físicos, químicos y hasta biológicos (Bautista, 2017).

### **Arena de cuarzo como material filtrante**

Este material es utilizado como medio filtrante en la planta de tratamiento de agua potable de Ginebra, Suiza (Hul et al., 2024). El cuarzo es un material de transformación de humectabilidad regulada por pH (Lin et al., 2023). Existen tasas de filtración de relaves de cuarzo acompañado de mineral de hierro entre partículas finas y gruesas (Madhusudhan et al., 2023).

### **Filtros de arena**

Existen otra clase de filtros de arena a base de NaClO pero estos son filtros que comúnmente se utilizan para potabilizar o bien sea para el tratamiento de aguas superficiales que contiene un alto porcentaje de manganeso (Jiang et al., 2023).

Los filtros de arena con piedra caliza granular son otro método eficiente para el tratamiento de aguas crudas, estos brindan una mejor eliminación de nano plásticos del agua (Li et al., 2023), mediante los filtros de arena se garantiza una eliminación casi que por completo de talio esto se debe gracias a el recubrimiento de MnOx que tienen estos filtros de arena caliza (Huang et al., 2024).

## **Antracita**

Dentro del proceso de filtración la antracita libera partículas muy finas de carbono aromático, este reacciona como cloro para producir subproductos de desinfección en el tratamiento de agua apta para el consumo humano (Wang et al., 2023).

## **Cuarcitas Bakari**

Este material es muy utilizado en la primera etapa del tratamiento de agua para el consumo humano, en filtros de arena, estas se clasifican en dos grupos, en primero es la cuarcita de grano grueso y el segundo es la cuarcita de grano fino (Ngon Ngon et al., 2023).

## **Micro plásticos**

Las plantas de tratamiento de agua potable reciben varios tipos de micro plásticos, siendo esta fibra el material dominante (Na et al., 2024).

## **Arena de magnesio**

La arena de magnesio certifica un rendimiento de eliminación de magnesio rápido y eficiente (Yu et al., 2024).

## **Tubería**

Es un ducto de sección circular para el transporte de agua, en las PTAP cumplen la función de conducir el agua de una estructura a otra (Meneses, 2021).

## **Cloración**

Este método fue creado en 1902 en Middlekerke en Bélgica (Barrios & Saldarriaga, s. f.), al agua tratada se le suministra una cantidad baja de cloro, el cual se encarga de depurar aquellos microorganismos vivos y asegura que el agua continúe desinfectada por más tiempo (Molina & Zúñiga, 2020).

## **Conducción**

Conjunto de tuberías que conducen el agua tratada desde el desarenador al resto de la planta, tanque de regulación o directamente a la red de distribución (Molina & Zúñiga, 2020).

## Coagulación

Existen factores que se deben tener en cuenta como: la dosis necesaria, la alcalinidad y el PH en el agua ya que esta se podría ver afectada por agregarle coagulante de más, el coagulante tiene hierro y este darle un color amarillo al agua (Vargas & Moreno, 2018).

## Coagulante

Sustancias químicas que ayudan al agrupamiento de las partículas mas pequeñas generando la formación de partículas más grandes y pesadas (Bautista & Bellido, 2018).

## Desinfección

Es necesario entender que en algunos casos para desinfectar el agua se utiliza cloro, pero este tiene una dosis mínima, el valor adecuado del cloro residual en cualquier punto del sistema de abastecimiento o la red de distribución debe estar dentro del intervalo de 0,3 a 2,0 mg/L (Nivia & Gusmán, 2020).

## Mezcla rápida

Se ordenan en dos grandes clases dependiendo de la energía empleada para fabricar la agitación: hidráulicos y metálicos (Villamil, 2021). En la tabla 2 se pueden examinar las unidades existentes para realizar la mezcla rápida.

**Tabla 2**  
Clasificación de las unidades de mezcla rápida

Mecánicos	Retro mezclador en línea	-	-
Hidráulicos	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinado	
		Vertederos rectangulares	

	En línea	Difusores	En tuberías En canales
		Inyectores	
		Estáticos	
	Caídas	Oficios	
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios ahogados	
	Velocidad de cambio de flujo	Línea de bombeo	
		Codos	

**Fuente:** (Villamil, 2021)

### Tanque de almacenamiento

Es una estructura con dos funciones: almacenar la cantidad pertinente de agua para satisfacer la demanda de una población y regular la presión adecuada en el sistema de distribución (Molina & Zúñiga, 2020).

### Parámetros de diseño

Son todos los criterios evaluados y establecidos que se deben tener en cuenta para diseñar y elaborar cada una de las estructuras o unidades hidráulicas que hacen parte de una planta de tratamiento de agua potable (Meneses, 2021).

### Tiempo de retención

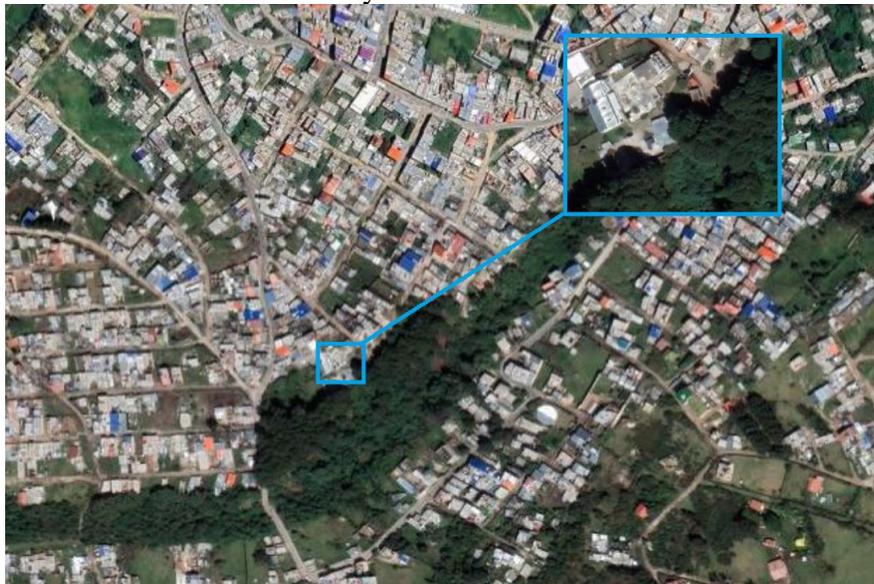
Es uno de los parámetros establecidos por el RAS 2000, este parámetro mide la relación entre el caudal y el volumen de la estructura hidráulica o depósito en el tratamiento de agua potable o residual (Torres & Rivera, s. f.).

## MARCO GEOGRÁFICO

ACUALCOS - Asociación De Servicios Públicos Comunitarios San Isidro Primer, Sector San Isidro Segundo Sector, San Luis Altos del Cabo y La Sureña. Se encuentra ubicada en chapinero UPZ 89, con la dirección CALLE 95A No 8-31 Este, Bogotá, Colombia (Sierra, 2023). La planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P. se encuentra localizada en San Luis Altos del Cabo, las coordenadas centrales del barrio son -74.023320 (longitud) y 4.669180 (latitud), el barrio San Luis Altos del cabo está ubicado entre Vía la Calera al Norte y Limite urbano al sur, M. la Calera y limite urbano al oriente y limite urbano al occidente como se muestra en la figura 2.

### Figura 1

Casco urbano de San Luis Altos del Cabo y PTAP ACUALCOS E.S.P.



*Fuente:* Google Maps

En la figura 1 se evidencia la ubicación de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., dentro del casco urbano del barrio San Luis Altos del Cabo.

### Figura 2

Localización de llegada de la línea de conducción para el sistema de tratamiento de agua potable



*Fuente:* (Sierra, 2023)

El barrio San Luis Altos del Cabo hace parte de la localidad de chapinero, esta localidad cuenta con 3.801 hectáreas de extensión, según la alcaldía local de chapinero. La localidad de chapinero está distribuida en cinco UPZ (Unidades de Planteamiento Zonal). A su vez, estas unidades están divididas en cincuenta barrios y en una UPR (Unidad de Planeación Zonal) en la cara oriental de los cerros llamada la vereda El Verjón Bajo (*UPZ de la localidad de Chapinero, s. f.*).

- **(No. 89) San Isidro Patios:** La Esperanza Nororiental, La Sureña, San Isidro y San Luis Altos del Cabo.

### MARCO LEGAL

En el territorio nacional colombiano hay una gran diversidad de normativa como se expone en la tabla 3, las cuales se enfocan primordialmente en la protección, regulación y control de la calidad del agua, además de estipular una serie de lineamientos técnicos para el control y vigilancia de las empresas que manipulan dicho recurso hídrico.

**Tabla 3**  
normatividad para la viabilidad del proyecto

Norma	Artículo	Descripción
Resolución 0330 de 2017	-	Por el cual se aprueba el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.
RAS - 2000	-	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
IRCA Decreto 1575 de 2007	-	Metodología empleada para evaluar los resultados de los análisis de muestra de agua para consumo.
Resolución 2115- 2017	-	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

**Fuente:** Elaboración propia, 2023

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar el sistema hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P. en chapinero alto.

### **ESPECÍFICOS**

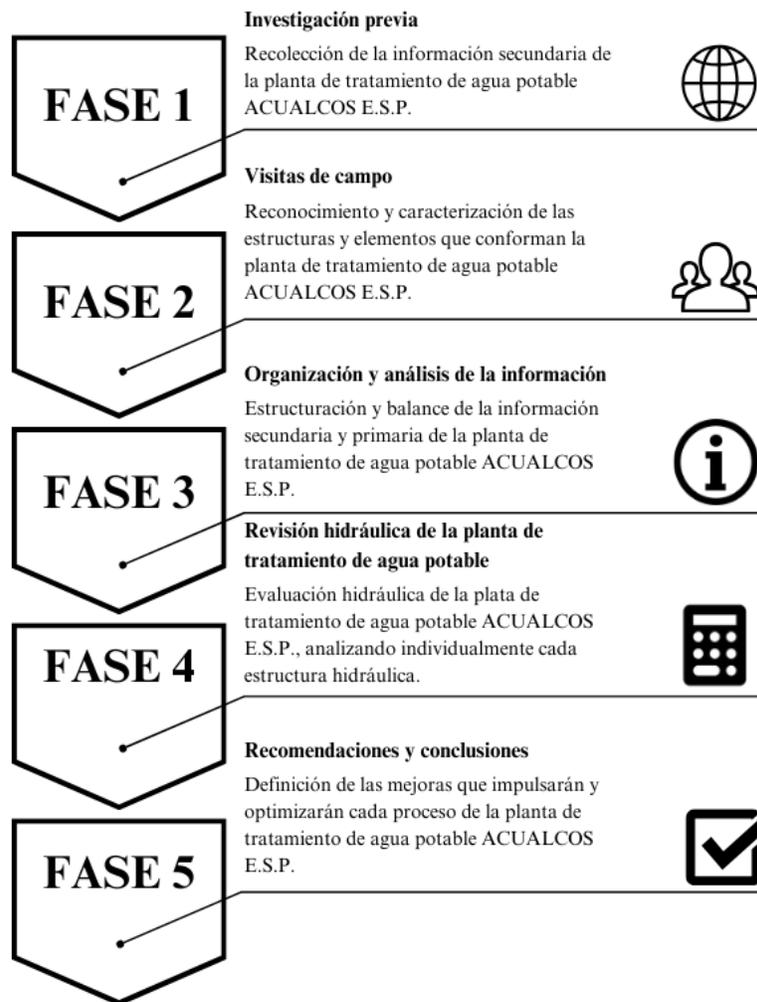
- Diagnosticar la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P.
- Evaluar el sistema hidráulico de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P.
- Realizar una propuesta de mejora hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P.

## **METODOLOGÍA**

La metodología que se empleó en esta investigación es evaluativa, la finalidad de este tipo de investigación es determinar el estado hidráulico actual de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P. ubicada en el barrio San Luis Altos del Cabo, acorde a los objetivos propuestos para el mismo, con el fin de hacer recomendaciones para que se tomen decisiones sobre su programación y proyección para futuro.

### **Figura 3**

Fases de desarrollo del proyecto



*Fuente:* Elaboración propia, 2023

## Fases de desarrollo

### Fase 1: Investigación previa

Para determinar el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) como primera fase se recolecta información secundaria de la planta, consultando documentos e informes tales como:

1. Planos hidráulicos de la PTAP
2. Memorias de cálculos de la PTAP
3. Esquema de ordenamiento territorial

## **Fase 2: Visitas de campo**

Para esta fase se realizó el reconocimiento y caracterización de las estructuras y todos los elementos que componen la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., teniendo en cuenta variables hidráulicas.

En este proceso se encontró que la planta cuenta con cuatro procesos para la potabilización y distribución del agua, como lo son: Desarenador, Sedimentador, Floculador, Filtros, Tanque de almacenamiento y distribución.

## **Fase 3: Organización y análisis de la información**

En la fase tres se llevó a cabo la respectiva estructuración y balance de la información secundaria y primaria, teniendo en cuenta planos de la planta, memorias de cálculo, mediciones ejercidas en campo y observaciones de los operarios de la planta de tratamiento de agua potable.

## **Fase 4: Recalculo de la PTAP**

En esta fase se diagnosticó hidráulicamente la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., analizando variables como cargas hidráulicas, tiempos de detención y velocidad del agua de cada estructura, esto con el fin de brindar las posibles mejoras que se concretaron para optimizar la planta de tratamiento de agua potable.

## **Fase 5: Recomendaciones y conclusiones**

Como último paso de este proyecto investigativo, se identificaron las fallas hidráulicas de la PTAP ACUALCOS E.S.P. con el objetivo de poder brindar recomendaciones que impulsen y optimicen cada proceso de la planta de tratamiento de agua potable para garantizar el máximo funcionamiento de esta, aledaño a esto se realizó el prediseño de cada estructura para fortalecer la

información primaria de la planta de tratamiento de agua potable, utilizando herramientas como AutoCAD.

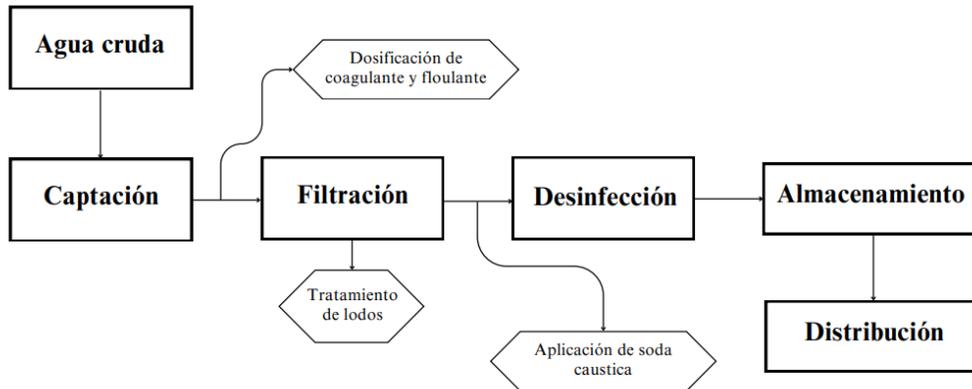
## **RESULTADOS**

La planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., cuenta con dos opciones para tratar el agua cruda que captan, la opción directa y la opción indirecta, la directa se implementa en verano

debido a que el caudal del río disminuye considerablemente, el proceso utilizado se muestra en la figura 4, y la indirecta es más utilizada en invierno debido a que el caudal del río donde se capta el agua aumenta y consigo aumentan las impurezas, el proceso utilizado se muestra en la figura 5.

**Figura 4**

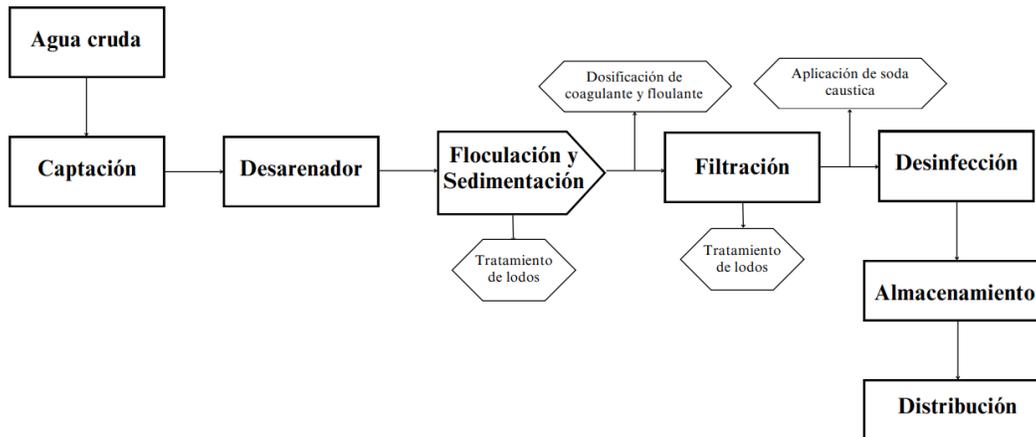
Proceso directo de tratamiento de agua potable, planta ACUALCOS E.S.P.



*Fuente:* Elaboración propia, 2023

**Figura 5**

Proceso indirecto de tratamiento de agua potable, planta ACUALCOS E.S.P.



*Fuente:* Elaboración propia, 2023

En ACUALCOS E.S.P. cuentan con varias estructuras hidráulicas para el tratamiento de agua y su potabilización, estas son:

1. Sedimentador
2. Desarenador

3. Flocculador
4. Filtros

Los cuales fueron examinados hidráulicamente para verificar si cumplen con los parámetros de diseño establecidos en el RAS - 2000 y la Resolución 0330 de 2017.

### Cálculos del sedimentador de alta tasa

La sedimentación es uno de los procesos más anticuado en el tratamiento de agua, ya que esta incita un decrecimiento en la velocidad del flujo, lo que facilita la sedimentación de materiales sólidos de peso específico mayor al del agua que los contiene (Salazar, 2004).

**Figura 6**  
Sedimentador



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

Esta estructura se encuentra ubicada en la parte alta de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., las medidas de este sedimentador horizontal de alta tasa se encuentran en la tabla 6.

**Figura 7**

Desarenador



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

Dentro de sus cinco compartimientos, este sedimentador cuenta con tres módulos de sedimentación tipo colmena de 0.82 metros de ancho por 2.94 metros de largo, como se muestra en la figura 7.

**Figura 8**  
Desarenador



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

Este sedimentador cuenta con una caja en la que se tiene carbón activado con el fin de disminuir y/o eliminar las impurezas y contaminantes que son arrastrados por el caudal captado, como se muestra en la figura 8.

**Tabla 4**

Datos obtenidos en campo

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal (Q)	16.5	L/s
	0.0165	$m^3/s$
	59.4	$m^3/hr$
	1425.6	$m^3/día$
Largo útil	7.65	m
Ancho útil	2.48	m
Altura útil	2.50	m
Área útil	18.97	$m^2$
Volumen útil	27.32	$m^3$

*Fuente:* Elaboración propia, 2023

### *Cálculo de la carga hidráulica*

Para hallar la carga hidráulica se empleó la siguiente ecuación (Ec1).

$$CH = Q/A \quad \text{Ec1}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$CH = (1425.6 \text{ m}^3/\text{día}) / (18.977 \text{ m}^2)$$

$$CH = 75.15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

### *Cálculo del tiempo de detención*

Para hallar el tiempo de detención se utilizó la siguiente fórmula (Ec2) involucrando el volumen y el caudal captado.

$$Td = V (m^3)/Q (m^3/hr) \text{ Ec2}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$Td = (27.32 m^3)/(59.4 m^3/hr)$$

$$Td = 0.46 \text{ hr}$$

Se convierte el Td en horas a minutos para comparar el valor con los criterios del título c del RAS.

$$Td = (0.46 \text{ hr}) * (60 \text{ min} / 1 \text{ hr})$$

$$Td = 27.6 \text{ min}$$

### Cálculos del floculador hidráulico de flujo horizontal

La formación conveniente del flóculo depende de una unidad planeada para tal fin, estas pueden ser de distintas características, pero las convencionales más utilizadas y analizadas en este trabajo son las de flujo horizontal (Romero & Anillo, 2016).

#### Figura 9

Floculador de la PTAP ACUALCOS E.S.P.



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

**Figura 10**  
Caja de aforo



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

El floculador es de flujo horizontal, sectorizado por tabiques entre los cuales circula el agua, a medida que el flujo entre pantallas va aumentando con el fin de reducir el gradiente de mezcla y eludir el rompimiento del floc (Bautista, 2017). Está fabricado en metal, sus dimensiones se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**  
Datos obtenidos en campo

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal (Q)	16.5	L/s
	0.0165	$m^3/s$
	59.4	$m^3/hr$
	1425.6	$m^3/día$
Largo útil	1.41	m
Alto	2.46	m

Ancho útil	2.42	m
Área (Largo * Ancho)	3.41	m <sup>2</sup>
Volumen	8.39	m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración propia, 2023

### ***Cálculo de la carga hidráulica***

Para hallar la carga hidráulica se empleó la siguiente ecuación (Ec1).

$$CH = Q/A \text{ Ec1}$$

Reemplazado y resolviendo, tenemos:

$$CH = (1425.6 \text{ m}^3/\text{dia}) / (3.41 \text{ m}^2)$$

$$CH = 418.06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

### ***Cálculo del tiempo de detención***

Para hallar el tiempo de detención se utilizó la siguiente fórmula (Ec2) involucrando el volumen y el caudal captado.

$$Td = V (\text{m}^3) / Q (\text{m}^3/\text{hr}) \text{ Ec2}$$

Reemplazado y resolviendo, tenemos:

$$Td = (8.39 \text{ m}^3) / (59.4 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$Td = 0.14 \text{ hr}$$

Se convierte el Td en horas a minutos para comparar el valor con los criterios del título c del RAS.

$$Td = (0.14 \text{ hr}) * (60 \text{ min} / 1 \text{ hr})$$

$$Td = 8.4 \text{ min}$$

### ***Cálculo de la velocidad del agua***

Para hallar la velocidad del agua se utilizó la siguiente fórmula (Ec3) involucrando el caudal expresado en metros cúbicos por segundo y el área transversal del canal.

$$V = Q/A_{\text{transversal del canal}} \text{ (Ec3)}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$V = (0.0165 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.50 \text{ m} * 2.46 \text{ m})$$

$$V = 0.0134 \text{ m/s}$$

### ***Cálculo de la longitud total recorrida por el agua***

Para hallar la longitud total recorrida por el agua se utilizó la siguiente fórmula (Ec4) involucrando la velocidad del agua y el tiempo de detención.

$$L = V * Td \text{ (Ec4)}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$L = (0.0134 \text{ m/s}) * (8.4 \text{ min}) * (60 \text{ s} / 1 \text{ min})$$

$$L = 6.75 \text{ m}$$

### **Cálculos para el sedimentador horizontal**

Este sedimentador cuenta con módulos de sedimentación tipo colmena como se muestra en la figura 11, sus dimensiones y cotas fueron tomadas en campo y plasmadas en la tabla 6.

**Figura 11**  
Sedimentador horizontal



*Fuente:* Elaboración propia, 2023

**Tabla 6**

Datos obtenidos en campo

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal (Q)	16.5	L/s
	0.0165	$m^3/s$
	59.4	$m^3/hr$
	1425.6	$m^3/día$
Largo útil	3.99	m
Alto	2.46	m
Ancho útil	2.42	m
Área (Largo * Ancho)	9.66	$m^2$
Volumen	23.75	$m^3$

*Fuente:* Elaboración propia, 2023

### *Cálculo de la carga hidráulica*

Para hallar la carga hidráulica se empleó la siguiente ecuación (Ec1).

$$CH = Q/A \text{ Ec1}$$

Reemplazado y resolviendo, tenemos:

$$CH = (1425.6 \text{ m}^3/\text{dia}) / (9.66 \text{ m}^2)$$

$$CH = 147.58 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

### *Cálculo del tiempo de detención*

Para hallar el tiempo de detención se utilizó la siguiente fórmula (Ec2) involucrando el volumen y el caudal captado.

$$Td = V (m^3) / Q (m^3/hr) \text{ Ec2}$$

Reemplazado y resolviendo, tenemos:

$$Td = (23.75 \text{ m}^3) / (59.4 \text{ m}^3/hr)$$

$$Td = 0.40 \text{ hr}$$

Se convierte el Td en horas a minutos para comparar el valor con los criterios del título c del RAS.

$$Td = (0.40 \text{ hr}) * (60 \text{ min} / 1 \text{ hr})$$

$$Td = 24 \text{ min}$$

### **Cálculos de la zona de filtros 1**

La zona de filtros 1 está compuesta por un circuito en paralelo de 6 filtros, cada uno con una altura de 2,49 metros, esto debido a que el soporte de cada filtro tiene una altura de 0,56 metros, y un diámetro de 1,72 metros cada uno, como se puede observar en las figuras 12 y 13.

#### **Figura 12**

Zona de filtros 1, vista perfil



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

**Figura 13**  
Zona de filtros 1



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

**Tabla 7**  
Datos obtenidos en campo

Parámetro	Valor	Unidad
-----------	-------	--------

Caudal (Q)	16.5	L/s
	0.0165	$m^3/s$
	59.4	$m^3/hr$
	1425.6	$m^3/día$
altura útil	1.90	m
Diámetro	1.72	m
Radio	0.86	m
Área	2.32	$m^2$
Volumen	4.41	$m^3$

**Fuente:** Elaboración propia, 2023

### ***Cálculo de la carga hidráulica***

Para hallar la carga hidráulica se empleó la siguiente ecuación (Ec1).

$$CH = Q/A \text{ Ec1}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$CH = (1425.6 \text{ m}^3/\text{dia}) / (2.32 \text{ m}^2)$$

$$CH = 614.48 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

### ***Cálculo del tiempo de detención***

Para hallar el tiempo de detención se utilizó la siguiente fórmula (Ec2) involucrando el volumen y el caudal captado.

$$T_d = V (m^3)/Q (m^3/hr) \text{ Ec2}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$T_d = (4.41 m^3)/(59.4 m^3/hr)$$

$$T_d = 0.074 hr$$

Se convierte el Td en horas a minutos para comparar el valor con los criterios del título c del RAS.

$$T_d = (0.074 hr) * (60 min / 1 hr)$$

$$T_d = 4.41 min$$

### **Cálculo de la zona de filtros 2**

La zona de filtros dos está compuesta por cuatro filtros en serie, como se muestra en las figuras 14 y 15.

**Figura 14**  
Zona de filtros 2



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

**Figura 15**  
Zona de filtros



**Fuente:** elaboración propia, 2023

Las dimensiones de estos filtros se encuentran en la tabla 8.

**Tabla 8**  
Datos obtenidos en campo

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal (Q)	16.5	L/s

	0.0165	$m^3/s$
	59.4	$m^3/hr$
	1425.6	$m^3/día$
Altura útil	1.60	m
Diámetro	1.20	m
Radio	0.60	m
Área	1.13	$m^2$
Volumen	1.809	$m^3$

**Fuente:** Elaboración propia, 2023

### ***Cálculo de la carga hidráulica***

Para hallar la carga hidráulica se empleó la siguiente ecuación (Ec1).

$$CH = Q/A \text{ Ec1}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$CH = (1425.6 \text{ m}^3/\text{día}) / (1.13 \text{ m}^2)$$

$$CH = 1261.59 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

### ***Cálculo del tiempo de detención***

Para hallar el tiempo de detención se utilizó la siguiente fórmula (Ec2) involucrando el volumen y el caudal captado.

$$Td = V (m^3) / Q (m^3/hr) \text{ Ec2}$$

Reemplazando y resolviendo, tenemos:

$$T_d = (1.809 \text{ m}^3)/(59.4 \text{ m}^3/\text{hr})$$

$$T_d = 0.030 \text{ hr}$$

Se convierte el  $T_d$  en horas a minutos para comparar el valor con los criterios del título c del RAS.

$$T_d = (0.030 \text{ hr}) * (60 \text{ min} / 1 \text{ hr})$$

$$T_d = 1.80 \text{ min}$$

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la siguiente tabla (tabla 8) se compararon los parámetros de diseño estipulados por el RAS - 2000 y la Resolución 0330 de 2017 con los datos reales de cada estructura hallados anteriormente.

**Tabla 9**

Comparación de los parámetros establecidos y los datos reales

Estructura	Parámetro	Dato teórico	Dato real	Observación
<b>Sedimentador de alta tasa</b>	Carga Hidráulica	32 -120 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	75.15 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	SI CUMPLE
	Tiempo de detención	20 - 40 min	27.6 min	SÍ CUMPLE
<b>Floculador horizontal</b>	Carga Hidráulica	70 - 110 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	418.06 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	NO CUMPLE
	Tiempo de detención	10 - 30 min	8.4 min	NO CUMPLE
	Velocidad del agua	0.2 - 0.6 m/s	0.0134 m/s	NO CUMPLE
<b>Sedimentador horizontal</b>	Carga Hidráulica	32 – 120 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	147.58 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	NO CUMPLE
	Tiempo de detención	20 - 40 min	24 min	SÍ CUMPLE
<b>Zona de filtros 1</b>	Carga Hidráulica	-	614.48 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	-

	Tiempo de detención	1 – 5 min	4.41 min	SI CUMPLE
<b>Zona de filtros 2</b>	Carga Hidráulica	-	1261.59 $m^3/m^2/día$	-
	Tiempo de detención	1 - 5 min	1.80 min	SI CUMPLE

*Fuente:* Elaboración propia, 2023

### ***Nota 1. Sedimentador de alta tasa***

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño en el título B del RAS - 2000 y los cálculos obtenidos, se determinó que el sedimentador sí cumple con los parámetros establecidos para su diseño debido a que el tiempo de retención de este sedimentador es de 27.6 minutos y por norma el tiempo de detención de un sedimentador horizontal de alta tasa debe estar en el rango de 20 a 40 minutos.

### ***Nota 2. Floculador horizontal***

El floculador existente en la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., no es el adecuado para el caudal que se está captando debido a que fue diseñado para 15 l/s y el caudal captado es de 16.5 l/s, esto se verifica con los cálculos ejercidos para hallar el tiempo de detención, este floculador no cumple con los parámetros de diseño debido a que el rango de tiempo de detención teórico es de 10 a 30 minutos y el tiempo de detención real hallado es de 8.4 minutos.

### ***Nota 3. Sedimentador horizontal***

Este segundo sedimentador cumple con los parámetros de diseño establecidos, en el título C del RAS - 2000, el tiempo de detención para sedimentadores horizontales está en el rango de 20 a 40 minutos, por lo que utilizando la fórmula para hallar el tiempo de detención se encuentra que el tiempo de detención de este sedimentador es de 24 minutos, por lo que sí cumple.

### ***Nota 4. Zona de filtros 1***

El tiempo de detención unitario para cada filtro es de 4.41 minutos, pero teniendo en cuenta que esta zona de filtros 1 está conformada por 6 filtros con las mismas condiciones de diseño y dimensionamiento, el tiempo de detención total para la zona de filtro 1 es de 26.46 minutos, con esto se puede definir que sí cumplen con los parámetros de diseño establecidos para filtros rápidos.

### *Nota 5. Zona de filtros 2*

Esta zona de filtros 2 está compuesta por 4 filtros con las mismas condiciones y dimensiones, se halló el tiempo de detención unitario para cada filtro y se encontró que cada filtro cuenta con un tiempo de detención de 1.80 minutos, por lo que, en general la zona de filtros 2 cuenta con un tiempo de detención de 7.2 minutos lo que la convierte en una zona de filtros rápidos.

## CONCLUSIONES

Se concluyó que la información primaria, como hojas de cálculos y planos de las estructuras hidráulicas, debían ser mejoradas debido a que había muchos problemas informativos y que faltaba información importante de las estructuras hidráulicas de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P.

Con el análisis hidráulico que se implementó al floculador se pudo concluir que el caudal (15.6 l/s) captado en la PTAP ACUALCOS E.S.P. es mucho mayor que el caudal para el cual fue diseñado este floculador (15 l/s), esto fue posible gracias a que el tiempo de detención real (8.4 min) es menor al parámetro de diseño estipulado en el RAS - 2000 (10 - 30 min).

En conclusión, queda demostrado que la evaluación hidráulica permitió verificar que la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., no cumple con todas las regulaciones y normas establecidas para la gestión de agua potabilizada. Esto deja en duda que la operación de la PTAP sea totalmente legal y ambientalmente responsable.

Se ha identificado que existen varias formas de optimizar y trabajar en la eficacia de los procesos de tratamiento de agua potable, esto incluye la simplificación de las pérdidas de agua, lo que contribuiría a la sostenibilidad a largo plazo de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCO E.S.P.

La planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., cuenta con dos zonas de filtros, la primaria tiene seis filtros que abarcan en su totalidad la labor de filtrar el agua captada, pero también cuenta con una zona filtrante secundaria compuesta por cuatro filtros de menor envergadura, pero que están en disposición para cumplir las funciones de la zona primaria, ya sea por motivos de mantenimiento o en casos extremos, por motivos de daños o imperfecciones.

La evaluación hidráulica de la PTAP destaca la gran importancia de reforzar y fortalecer las estructuras de la planta para así poder hacer frente a eventos extremos, como sequías o

inundaciones. Con esta investigación se identificaron medidas para mejorar la flexibilidad y poder garantizar la fluidez y continuidad del suministro de agua en condiciones críticas.

## **CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES**

Gracias a este proyecto investigativo se pudieron generar varias recomendaciones en pro a la optimización de la planta de tratamiento de agua potable ACUALCOS E.S.P., Todas estas ideas de mejoramiento fueron filtradas para así poder destacar las más adecuadas.

En vista de que el floculador fue diseñado para un caudal de 15 l/s y el caudal captado por la planta de tratamiento de agua potable es de 16.5 l/s, esta estructura hidráulica (floculador) no está siendo utilizada para el tratamiento de agua, esto genera una sobrecarga sobre los filtros debido a que el agua está pasando directamente a ellos, por este motivo una de las recomendaciones que surgió fue disminuir el caudal captado a 15 l/s para que así el floculador pueda cumplir con su función adecuadamente y así evitar una sobre carga sobre las demás estructuras hidráulicas, como segunda recomendación y para no disminuir el caudal captado, ya que esto generaría complicaciones en cuanto a la distribución y los suscriptores, se llegó a la conclusión de que para solucionar esta problemática se podría adaptar un tanque de almacenamiento como ayudante del floculador para que almacene los excesos de caudal con el fin de no exceder el caudal máximo para el cual fue diseñado el floculador.

## REFERENCIAS

Cabrejo, M. F. H., & Buitrago, J. A. P. (2018). EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOGÜÍ – BOYACÁ.

Jiménez, C. Y. J., & Jiménez, M. A. S. (2017). DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE, (CUNDINAMARCA).

Puglla, J. (2017). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CRUDA CAPTADA CON FINES DE CONSUMO HUMANO EN LA PARROQUIA PATUCA Y PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA YAGUAIMI.

Bautista, W. T. D. (2017). EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TENA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. 2017.

Molina, J. A. R., & Zuñiga, L. M. P. (2020). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL MUNICIPIO DE RÍO SUCIO - CHOCÓ.

ICI\_295.pdf. (s. f.). Recuperado 15 de septiembre de 2023, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4337/ICI\\_295.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4337/ICI_295.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villamil, O. F. G. (2021). EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LOS PROCESOS DE MEZCLA RÁPIDA Y FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOCAIMA – CUNDINAMARCA.

MontañoPichimataMariaIsabel2016.pdf. (s. f.). Recuperado 17 de febrero de 2023, de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4845/Monta%C3%B1oPichimataMariaIsabel2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villamil, O. F. G. (2021). EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LOS PROCESOS DE MEZCLA RÁPIDA Y FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE TOCAIMA – CUNDINAMARCA.

Calderón, J. M. S., Cardona, L. F. H., Mustafá, I. F., Castillo, M. C., Méndez, J. M., & Liévano, A. V. (s. f.). Ras 2000—Titulo C.

Romero, H. C. N., & Anillo, J. L. P. (2016). DIAGNÓSTICO RÁPIDO PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES.

0330-2017. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2023, de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

Salazar, C. A. B. (2004). DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR DE PLACA PARALELA CON FLUJO HORIZONTAL BAJO EL CONCEPTO DE LA TASA DE DESBORDAMIENTO SUPERFICIAL.

Código Postal Barrio San Luís Altos del Cabo en Chapinero, Bogotá. (s. f.). Recuperado 24 de octubre de 2023, de <https://codigo-postal.co/colombia/bogota-dc/chapinero/san-luis-altos-del-cabo/>

UPZ de la localidad de Chapinero. (s. f.). Recuperado 24 de octubre de 2023, de <http://www.chapinero.gov.co/content/upz-la-localidad-chapinero>

Sierra, D. (2023). *INFORME TECNICO DE AGUA POTABLE PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE ACUALCOS*. [file:///C:/Users/jesus%20perez/OneDrive/Escritorio/Informe%20Tecnico%20Conduccion%20Acualcos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jesus%20perez/OneDrive/Escritorio/Informe%20Tecnico%20Conduccion%20Acualcos%20(1).pdf)

187495739.pdf. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2023, de

<https://core.ac.uk/download/pdf/187495739.pdf>

Alcides, I. R. P. (s. f.). *INGENIERO HIDRÁULICO*.

Barrios, N. L., & Saldarriaga, J. (s. f.). *TESIS PREGRADO INGENIERÍA AMBIENTAL*.

Bautista, B. H. G., & Bellido, L. C. (2018). *DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE*

*MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL*

*MUNICIPIO DE LA PALMA - DEPARTAMENTO CUNDINAMARCA- COLOMBIA*.

*DESTEFANO\_MOLERO\_JAVIER\_PLANTA\_TRATAMIENTO\_AGUA\_APURIMAC.pdf*. (s. f.).

Recuperado 17 de noviembre de 2023, de

[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/977/DESTEFANO\\_](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/977/DESTEFANO_)

MOLERO\_JAVIER\_PLANTA\_TRATAMIENTO\_AGUA\_APURIMAC.pdf?sequence=

1

García, M. B. C., & Garcés, V. J. (s. f.). *CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES DE CALUMA NUEVO DEL CANTÓN CALUMA – PROVINCIA DE BOLÍVAR. AUTOR:*

Gonzalez, N. V. C. (2004). *EVALUACION DE LA PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO VALLE DE SAN JUAN (TOLIMA).*

*Gonzalez\_a.pdf*. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2023, de

[https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1057/1/gonzalez\\_a.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1057/1/gonzalez_a.pdf)

Huang, Y., Liu, Z., Liu, H., Ma, C., Chen, W., & Huangfu, X. (2024). Removal of thallium by MnOx coated limestone sand filter through regeneration of KMnO<sub>4</sub>: Combination of physiochemical and biochemical actions. *Journal of Hazardous Materials*, 464. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132947>

Hul, G., Martignier, A., Gentile, S. R., Zimmermann, S., Ramaciotti, P., Perdaems, P., & Stoll, S. (2024). Insights into polystyrene nanoplastics adsorption mechanisms onto quartz sand used in drinking water treatment plants. *Science of the Total Environment*, 908. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168076>

*IV\_FIN\_107\_TE\_Romero\_Giraldez\_2021.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2023, de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9766/4/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Romero\\_Giraldez\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9766/4/IV_FIN_107_TE_Romero_Giraldez_2021.pdf)

Jiang, S., Guo, X., Wang, Y., Wen, X., Chang, H., Wang, J., Li, G., Liang, H., & Tang, X.

(2023). NaClO-based rapid sand filter in treating manganese-containing surface water:

- Fast ripening and mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1).  
Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109082>
- Li, X., Zhang, Y., Xu, H., Sun, Y., Gao, B., & Wu, J. (2023). Granular limestone amended sand filters for enhanced removal of nanoplastics from water: Performance and mechanisms. *Water Research*, 229. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119443>
- Lin, X., Zhang, Y., Yang, Z., Yue, W., Zhang, R., Qi, J., & Lu, H. (2023). pH-regulated superhydrophobic quartz sands for controllable oil-water separation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5). Scopus.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110818>
- Madhusudhan, M. S., Surendra, H. J., Rajendra, H. J., Chinmay, V., & Udaygowda, U. S. (2023). Removal of hardness using natural and synthetic water treatment system for safe and sustainable water supply in the Indian context. *Sustainable Water Resources Management*, 9(6). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00954-8>
- Meneses, Y. L. T. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE - PTAP DEL MUNICIPIO DE FIRAVITOBA, BOYACÁ.*
- Na, S.-H., Kim, M.-J., Kim, J., Batool, R., Cho, K., Chung, J., Lee, S., & Kim, E.-J. (2024). Fate and potential risks of microplastic fibers and fragments in water and wastewater treatment processes. *Journal of Hazardous Materials*, 463. Scopus.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132938>
- Ngon Ngon, G. F., Minkoe, M. T., Itiga, Z., Taypondou, D. J., Oumla Kankao, O., Mbaï, J. S., & Bonda, B. M. M. (2023). Potential Use of the Bakari (Adamawa–Cameroon) Quartzites as Sand Filters. *Geotechnical and Geological Engineering*. Scopus.  
<https://doi.org/10.1007/s10706-023-02621-3>

Nivia, J. C., & Guzmán, J. S. R. (2020). *Diagnostico hidráulico operativo de la planta de tratamiento de agua potable de municipio de Santuario Risaralda.*

Palacios, E. H. V. (s. f.). *EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR), DE LA INSPECCIÓN DE PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE NILO CUNDINAMARCA.*

Torres, A. M. O., & Rivera, L. M. R. (s. f.). *Propuesta de mejoramiento de la PTAP en el corregimiento Pradilla del municipio de Mesitas del Colegio.*

UPS - TTS116.pdf. (s. f.). Recuperado 17 de noviembre de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19175/1/UPS%20-%20TTS116.pdf>

Vargas, F. G. G., & Moreno, D. E. M. (2018). *PREDISEÑO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL RÍO EN EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA (CUNDINAMARCA).*

Wang, X.-S., Liu, Y.-L., Xue, L.-X., Song, H., Pan, X.-R., Huang, Z., Xu, S.-Y., Ma, J., & Wang, L. (2023). Anthracite Releases Aromatic Carbons and Reacts with Chlorine to Form Disinfection Byproducts in Drinking Water Production. *Environmental Science and Technology*, 57(2), 1103-1113. Scopus. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05192>

Yu, P., Song, Y., Jin, X., Fu, J., & Zhang, S. (2024). Study on the efficiency of manganese oxide-bearing manganese sand for removing Mn<sup>2+</sup> from aqueous solution. *Microporous and Mesoporous Materials*, 364. Scopus.

<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2023.112859>

**ANEXOS**

Anexo 1. Plano sedimentador

Anexo 2. Plano Floculador

Anexo 3. Plano zona de filtros 1

Anexo 4. Plano zona de filtros 2