

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE (PTAP) GUACAVÍA EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL,
DEPARTAMENTO DEL META.

JUAN CAMILO LOAIZA SOTO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE (PTAP) GUACAVÍA EN EL MUNICIPIO DE CUMARAL,
DEPARTAMENTO DEL META.

JUAN CAMILO LOAIZA SOTO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Director

JUAN JOSE NIETO BERNAL

Ingeniero Ambiental y Sanitario.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades académicas

FRAY JUAN UBALDO LOPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

FRAY ERICO MACCHI CESPEDES, O.P.

Vicerrector Académico General

FRAY JOSE ARTURO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

FRAY FERNANDO CAJICA GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBON

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota de aceptación

Yésica Natalia Mosquera Beltrán

Decana de la Facultad

Juan José Nieto Bernal

Director de Grado

Christian José Rojas Reina

Jurado

FIRMA NOMBRE

Jurado

Villavicencio 15 de mayo de 2018.

Agradecimientos

Quiero agradecer a cada una de las personas que de una u otra manera pusieron de su parte para que este trabajo pudiera desarrollarse. A mis directores de grado que han sido un apoyo en todo este proceso, que me han impulsado a ser mejor cada día y a entregar lo mejor de mí, también a todo el equipo de trabajo que integra “Planeación”, la empresa de Servicios Públicos EDESA S.A E.S. P”. Gracias por todo el apoyo dado y contribuir al trabajo, el cual sabemos que obtendrá excelentes resultados.

A la universidad Santo Tomas por el camino recorrido a lo largo de estos años, en la cual me han brindado las herramientas necesarias para lograr este objetivo y finalmente a todas aquellas personas que me acompañaron durante mi carrera profesional, sin ustedes no estaría donde estoy ahora, gracias.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Planteamiento del Problema.....	4
2.1. Formulación en torno al problema	4
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
4. Alcance del Proyecto.....	6
5. Antecedentes	7
6. Justificación.....	10
7. Marco Referencial	11
7.1. Marco Teórico:.....	11
7.2. Marco Conceptual:	13
7.3. Marco Legal:	15
8. Metodología	17
8.1. Diagnóstico de los procesos unitarios del sistema operativo de la PTAP.....	17
8.1.1. Proyección poblacional.	18
8.1.2. Dotación bruta:.....	19
8.1.3. Estimación de la demanda.....	20
8.1.4. Caudal máximo diario.	20
8.1.5. Caudal máximo horario.....	20
8.2. Evaluar los diseños hidráulicos teóricos y reales en la PTAP	21
8.3. Analizar los parámetros fisicoquímicos y comparar respecto a la Res. 2115/07.....	24
8.4. Plantear las alternativas de mejoramiento.....	24
9. Resultados	26
9.1. Diagnóstico de los procesos unitarios, estado de equipos y herramientas de la PTAP. 26	
9.2. Situación actual de operación del sistema de tratamiento.....	28

9.3. Diseño conceptual: Definición del nivel de complejidad del sistema.....	29
9.3.1. Asignación del nivel de complejidad.	29
9.3.2. Población dotación y demanda.....	29
9.3.3. Periodo de diseño según el nivel de complejidad del sistema	31
9.3.4. Dotación neta.	32
9.3.5. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.....	32
9.3.6. Correcciones a la dotación neta.....	33
9.3.7. Variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad.	33
9.3.8. Pérdidas.....	33
9.3.9. Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnica.....	33
9.3.10. Dotación bruta.....	34
9.3.11. Estimación de la demanda.....	34
9.3.12. Caudal máximo diario.....	34
9.3.13. Coeficiente de consumo máximo diario, k1, según el nivel de complejidad.	34
9.3.14. Caudal máximo horario.....	35
9.3.15. Coeficiente de consumo máximo horario, k2, según el nivel de complejidad.....	35
9.3.16. Caudal de diseño de la planta de potabilización.	35
9.4. Análisis de los parámetros hidráulicos.....	36
9.4.1. Análisis de aforo del caudal.	37
9.4.2. Análisis de la canaleta Parshall.....	39
9.4.3. Análisis del proceso de Floculación.....	42
9.4.4. Análisis del proceso de sedimentación.	44
9.4.5. Análisis del proceso de Filtración.....	45
9.5. Analizar y comparar respecto a la resolución 2115/07 los parámetros fisicoquímicos. 48	
9.5.1. Análisis de la alcalinidad en el agua, respecto a la resolución 2115/07.	48
9.5.2. Análisis de la turbiedad en el agua cruda, respecto a la resolución 2115/07.	49
9.5.3. Análisis de la turbiedad en el agua tratada, respecto a la resolución 2115/07.	51
9.5.4. Análisis del color del agua cruda y tratada respecto a la resolución 2115/07.....	52
9.5.5. Análisis del pH en el agua cruda y tratada respecto a la resolución 2115/07.	53
9.5.6. Análisis del cloro residual en el agua respecto a la resolución 2115/07.....	54
9.6. Plantear las alternativas de mejoramiento en la PTAP Guacavia.	55

9.6.1. Descripción de alternativas de mejoramiento.	55
10. Conclusiones	57
11. Recomendaciones.....	58
12. Referencia bibliografía.....	59

Lista de tabla

	Pág.
Tabla 1. Parámetros Fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles	15
Tabla 2. Normatividad ambiental nacional relacionada con el agua potable.....	16
Tabla 3. Ecuaciones para proyección poblacional.	19
Tabla 4. Proyecciones de población dane (casco urbano).....	30
Tabla 5. Calculo tasa de crecimiento (casco urbano).....	31
Tabla 6. Población total Cumaral (casco urbano)	32
Tabla 7. Dimensiones típicas de medidores (cm)	36
Tabla 8. Rango de caudales de operación en Parshall.	36
Tabla 9. Aforo en la canaleta Parshall.	38
Tabla 10. Aforo en la canaleta Parshall	38
Tabla 11. Aforo canaleta Parshall.	39
Tabla 12. Aforo canaleta Parshall.	39
Tabla 13. Aforo canaleta Parshall.	39
Tabla 14. Condiciones físicas de la canaleta Parshall.....	40
Tabla 15. Condiciones hidráulicas de la canaleta Parshall.	41
Tabla 16. Condiciones físicas del floculador.	42
Tabla 17 Condiciones hidráulicas del floculador.....	43
Tabla 18. Condiciones físicas del sedimentador	44
Tabla 19. Condiciones hidráulicas del sedimentador.....	45
Tabla 20. Condiciones físicas de los filtros.	46
Tabla 21. Condiciones hidráulicas de los filtros.	47

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Se describe la metodología mediante un diagrama de flujo.....	25
Figura 2. Aforo para determinar el nivel de caudal en la canaleta Parshall	37
Figura 3. Aforo para determinar el nivel de caudal en la canaleta Parshall.....	37
Figura 4. Aforo para determinar el nivel de caudal en la canaleta Parshall.....	38
Figura 5. Parámetro de alcalinidad en la planta de tratamiento de agua potable.	48
Figura 6. Parámetro de turbiedad del agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable	49
Figura 7. Planilla de operación de la PTAP.	50
Figura 8. Parámetro de turbiedad del agua tratada en la PTAP	51
Figura 9. Parámetro de color en la entrada y salida de la PTAP.....	52
Figura 10. Parámetro de pH en la entrada y salida de la PTAP.	53
Figura 11. Parámetro de cloro en la planta de agua potable	54
Figura 11. Alternativa de mejoramiento en el tanque desarenador	56

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1.Ubicación del municipio de Cumaral.	61
Anexo 2.Ubicación del municipio de Cumaral y la PTAP Guacavia.	62
Anexo 3.Descripción de los procesos unitarios de la PTAP.	63
Anexo 4.Fórmulas aplicadas,“Elementos de diseños para acueductos y alcantarillados”.	66
Anexo 5.Descripción en cantidad de equipos, personal operativo y administrativo.....	67
Anexo 6.Canaleta Parshall y mezcla rápida PTAP Guacavia.	68

Resumen

Los procedimientos metodológicos y las técnicas de evaluación empleadas en este proyecto se basaron en el programa regional “Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente” (CEPIS), enfocadas en el mejoramiento de la calidad de agua para el consumo humano. Por lo anterior se tiene como objetivo principal “Realizar un diagnóstico del sistema operativo de la PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del meta” emitiendo un concepto del estado en que está brindando el servicio la planta potabilizadora. Determinando que procesos unitarios posiblemente presenten falencias y así poder proponer las alternativas de mejoramiento, generando mayor calidad de vida a la población, debido a los resultados de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en el que se encuentra la población del casco urbano de Cumaral y por otra parte las quejas presentadas a la secretaria de salud de dicho lugar por los habitantes.

De acuerdo a lo anterior se hace evidente que la PTAP presenta problemas para brindar el servicio a la población y posiblemente no está cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en la normatividad colombiana. Por lo tanto, se evalúa todo el tren de procesos para tratar el agua, permitiendo realizar un contraste con la normatividad vigente y así dar a conocer que procesos están afectando toda la operación de potabilización del recurso hídrico.

Como resultado se establecen las posibles causas por la cual, la PTAP está presentando la problemática anteriormente mencionada, siendo la base para proponer las alternativas de mejoramiento y así cumplir con los estándares de calidad establecidos en el decreto 1575/2007 y la resolución 2115/2007 en la normatividad colombiana, mejorando la calidad del agua para los habitantes de Cumaral.

Palabras clave: Agua potable, Población, Procesos unitarios, Carga hidráulica.

Abstract

The methodological procedures and evaluation techniques used in this project were based on the regional program "PAN AMERICAN CENTER FOR SANITARY ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SCIENCES" (CEPIS), focused on improving the quality of water for human consumption. Therefore, the main objective is to "Make a diagnosis of the PTAP Guacavía operating system in the municipality of Cumaral, department of the target" by issuing a concept of the state in which the PTAP is providing the service. Determining that unitary processes possibly present shortcomings and thus be able to propose alternatives for improvement, generating greater quality of life for the population, due to the results of risk of the quality of water for human consumption (IRCA) in which the population of the urban helmet of Cumaral and on the other hand the complaints presented to the secretary of health of said place by the inhabitants.

According to the above it is evident that the PTAP presents problems to provide the service to the population and is possibly not complying with the quality standards established in the Colombian regulations. Therefore, the entire process train is evaluated to treat the water, allowing a contrast with the current regulations and thus letting know what processes are affecting the entire water purification operation of the water resource.

As a result, the possible causes for which the PTAP is presenting the aforementioned problems are established, being the basis for proposing alternatives for improvement and thus meet the quality standards established in decree 1575/2007 and resolution 2115/2007 in the Colombian normativity, improving the water quality for the inhabitants of Cumaral.

Keywords: Drinking water, Population, Unit processes, Hydraulic load.

1. Introducción

La ingeniería ha tenido un gran aporte en la humanidad, actualizando sus metodologías a través de los años e innovando la tecnología para mejorar la calidad de vida de las personas, como ejemplos principales tenemos los avanzados procedimientos médicos, las mega infraestructuras físicas y la nanotecnología (Castillo Velez, 2012). Pero sin duda alguna, uno de los más indispensables para tener una calidad de vida digna y un desarrollo socioeconómico en las personas, es el saneamiento básico, que tiene como finalidad el suministro de agua potable.

Se puede afirmar que las condiciones de saneamiento básico en una población están determinadas por el nivel de desarrollo económico independiente de cada comunidad, de esta manera la población con mayor recurso monetario tiene mejor accesibilidad a metodologías y tecnologías para solucionar sus problemas respecto al suministro de agua potable, por lo tanto, según el (RAS, 2017) la selección de una técnica para potabilizar el agua dependerá siempre del nivel de complejidad del sistema.

La calidad del agua es un aspecto importante en la actualidad, sobre todo cuando esta es destinada para el consumo humano, existiendo diversos procesos para su potabilización e incluso la normatividad ambiental colombiana es bastante sólida en lo que respecta a este tema; sin embargo se evidencia falencias en cuanto a la manera de potabilizar el agua en diferentes aspectos, es decir en algunos casos los problemas son directamente de infraestructura y en otros casos obedece a que la metodología aplicada no satisface las necesidades requeridas por la población (Castro Garzón, Rubio Cruz, & Rodríguez Miranda, 2012). Hecho que repercute en la calidad con la que se brinda el servicio que posteriormente es consumida por una comunidad determinada, en este caso hablamos del municipio de la población en Cumaral.

2. Planteamiento del Problema

Un sistema de tratamiento de agua potable le debe garantizar a los usuarios la disponibilidad continua del servicio, cumpliendo con los estándares de calidad, según lo dicta la norma en el decreto 1575/2007 y la resolución 2115/2007 de la legislación colombiana. Por lo tanto, estas características generan de manera directa un bienestar, aumentando la calidad de vida de los habitantes, en este caso la comunidad de Cumaral. La empresa Edesa S.A E.S.P entregó un informe, respaldado por el laboratorio Tecno ambiental LTDA, Indicando que el promedio IRCA del año 2016 en el municipio de Cumaral es de 8,7 ubicándolo en un nivel de riesgo bajo. Hecho que hace evidente la necesidad de saber que está generando estas condiciones de calidad con la que se brinda el servicio.

La planta potabilizadora de Cumaral abastece a una comunidad de 12.487 habitantes, la proyección poblacional indica que la demanda del caudal debe ser de 55,2 l/s (litros/segundos) para el año 2017, pero aparentemente, según la bitácora aportada por Edesa, actualmente trabaja con 60 l/s (litros/segundos). Hecho que podría ser la causa de que la planta potabilizadora no ofrezca los resultados esperados.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior, el contexto poblacional y geográfico del área de estudio, el interés principal de este proyecto de grado es saber si la planta de tratamiento de agua potable Guacavía que abastece a la población de Cumaral, departamento del Meta, está en la capacidad de suministrar agua potable a dicha comunidad, tanto en calidad, como en cantidad. Lo que hace evidente e indispensable, “Realizar un diagnóstico del sistema operativo de la PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del meta” permitiendo saber que procesos están operando ineficientemente, siendo esto la base para plantear las alternativas de mejoramiento.

2.1. Formulación en torno al problema

¿Qué procesos en la planta de tratamiento de agua potable Guacavía, pueden ocasionar problemas en toda la operación de potabilización, afectando la calidad del agua?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Realizar un diagnóstico del sistema operativo de la PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta, mediante el Programa Regional de Mejoramiento de Calidad De Agua para el consumo humano (CEPIS), con el propósito de identificar cuáles son los procesos unitarios ineficientes.

3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los diseños hidráulicos teóricos y reales en la PTAP.
- Contrastar las condiciones hidráulicas reales de operación respecto a la normatividad
- Analizar la información de las bitácoras de la PTAP, donde se consignan los parámetros de alcalinidad, cloro residual, color, Ph, turbiedad del agua tratada y de esta manera poder hacer la comparación respecto la Resolución 2115/07.
- Plantear las alternativas de mejoramiento.

4. Alcance del Proyecto

Este proyecto de grado permitirá determinar si la planta de tratamiento de agua potable está o no cumpliendo con los parámetros de calidad y diseño establecidos en la normatividad. Para tal fin se practicarán cinco visitas técnicas en un tiempo de 5 meses, en los cuales se revisarán las bitácoras e información disponible en la PTAP, además de esto se analizarán los planos, junto a las memorias de diseño y se compararán estas condiciones con las reales. Según (IGAC, 1935) La población se encuentra localizada en la parte Noroccidental del Departamento del Meta, con coordenadas 4°16'08" latitud norte y 73°28'59" de longitud oeste; La cual se encuentra ubicada en el Piedemonte Llanero, y su altura sobre el nivel del mar es de 452 metros.

Luego de comparar los planos, las memorias y la infraestructura física construida, se analizarán los parámetros hidráulicos de operación para determinar las condiciones de operación de la PTAP, de los cuales se pueden destacar los caudales, velocidades, gradientes de velocidad, tiempos de retención y cargas superficiales tanto de sedimentación como de filtración. Estos resultados se compararán con los parámetros de diseño planteados en el RAS 2017 y en otras normas de diseño de las PTAP, de esta manera acercarnos a la determinación de los problemas que ocasionan la deficiencia en la calidad del agua tratada.

Finalmente, se aportarán las alternativas de mejora a que dieran lugar en caso de requerirse. La ubicación exacta del municipio de Cumaral y la PTAP Guacavía se pueden ver en los siguientes mapas. ([Ver anexo 1](#)), ([Ver anexo 2](#)).

5. Antecedentes

El trabajo actual hace referencia a los cambios históricos y desafíos que se han tenido que afrontar desde la ingeniería para dar soluciones acertadas a los avances en el tema de plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en comunidades que cada vez aumenta su población y desarrollo económico, es por esta razón que se debe estar a la vanguardia en el diagnóstico y funcionamiento hidráulico de las plantas potabilizadoras. Desde este enfoque es fundamental tener en cuenta la historia como parte esencial de la investigación para conocer las bases históricas.

Los sistemas de potabilización y saneamiento básico en Colombia se remontan a las últimas décadas del siglo XIX. En ciudades principales como Bogotá, Barranquilla y Medellín, era normal la intervención de las autoridades locales, en provisionar colectivamente el agua por medio de canales rudimentarios; con el desarrollo de las ciudades aparecen las primeras plantas de tratamiento de agua potable, estos sistemas surgieron por iniciativa de empresarios privados en los centros urbanos de mayor dinamismo en las actividades económicas y el crecimiento demográfico (Romero & Anillo, 2016).

En la actualidad las plantas de tratamiento de agua potable se han transformado, aplicando tecnologías para hacer más eficientes los procesos unitarios, con características fisicoquímicas que el agua requiere en sus procesos, como son la aplicación de coagulantes, polímeros, sistemas automatizados, mezcla rápida, sedimentación, filtración y desinfección. En Colombia el tipo más común de planta potabilizadora es de tipo convencional, con etapas preliminar, primaria y dependiendo de la necesidad, etapa secundaria, cuyo concepto de diseño tiende a utilizar el menor número posible de equipos mecánicos automáticos. También existen las plantas de tratamiento de agua potable de tipo compactas, pero estas son poco aplicadas, debido a que su operación requiere de personal altamente capacitado para operarla, por sus equipos automatizados y en épocas de invierno las variaciones del agua son fluctuantes requiriendo mayor supervisión, debido a esto su costo de operación es elevado. Las plantas de tratamiento de agua potable no siempre cuentan con todos los procesos de tratamientos requeridos y la potabilización del agua se puede ver afectada por que no cuentan con trabajadores debidamente calificados, no se les suministra los insumos necesarios para su buen funcionamiento, no se les hace el mantenimiento requerido, no cuentan

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

con un laboratorio adecuado para controlar y garantizar la calidad del agua que tratan. Por lo tanto se puede afirmar que las poblaciones que consumen agua de buena calidad son las ciudades grandes e intermedias, debido a que cuentan con empresas bien estructuradas en su áreas administrativas, dejando a un lado las ciudades pequeñas, municipios y veredas que carecen de una adecuada administración y sus recursos no son suficientes para garantizar la calidad del agua. (Fässler & Elizabeth, 2014)

La accesibilidad de servicios de saneamiento es un valioso indicador de la calidad de vida de una comunidad y una condición necesaria para alcanzar el desarrollo sostenible, lo cual hace necesario implementar diagnósticos y estudios a las distintas plantas potabilizadoras ya que el agua es un recurso indispensable para la vida siendo cada vez más escaso sin tener un sustituto (Capacho Gutierrez & Uribe James, 2005). Por lo tanto, quien tenga acceso a ella, podrá tener ventajas en su desarrollo económico significativamente

Se encontraron trabajos de grado que han sido publicados, relacionados con el diagnóstico del sistema operativo y alternativas de mejoramiento para la PTAP, a nivel local se ha dificultado la búsqueda de investigaciones donde realicen un diagnóstico a una planta potabilizadora en el municipio de Cumaral ubicado en el departamento del Meta; solo un informe técnico realizado en el año 2015 por EDESA ESP denominado “Implementación del plan de gestión social del plan de agua para la prosperidad y plan departamental del agua” donde dan a conocer el estado y operación de la planta de tratamiento de agua potable Guacavía por medio de un método observacional, realizando visitas técnicas programadas, junto con la ayuda de las bitácoras que usan los operarios. Determinando que la infraestructura instalada, permite suministrar agua de óptima calidad, sin la necesidad de cambio en los equipos y se debe ejecutar un plan de mantenimiento preventivo (Edesa S.A E.S.P, 2015). Además de este informe, se tuvieron en cuenta otros documentos nacionales e internacionales, dando un aporte importante para poder tener una base fundamental a la hora realizar este proyecto.

La empresa de servicios públicos EDESA E.S.A E.S. P, hace la entrega de un informe técnico sobre el riesgo de calidad del agua para consumo humano (IRCA), en el cual indica el promedio del IRCA para todos los municipios del departamento del meta, de acuerdo a las muestras de agua tomadas por el laboratorio Tecno Ambiental LTDA. Para el municipio de Cumaral en el año 2016 obtuvo un rango de 8,7 ubicándose en un nivel de riesgo bajo.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

A nivel internacional uno de los más destacados se encontró el documento donde Johana Elizabeth Uvidia Fässler realiza “La optimización de la PTAP en la ciudad de Chambo, Ecuador” ubicada en el sector El Mirador, aplicando el método experimental y técnica de análisis en este trabajo de investigación, para lo cual se realizaron caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas, a la entrada y salida de cada etapa del proceso de tratamiento; Concluyendo que las alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, la ejecución del plan de mantenimiento de cada una de las etapas disminuirá los fosfatos que exceden la norma. (Fässler & Elizabeth, 2014)

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) forma parte de la División de Salud y Medio Ambiente de la OPS, sus actividades están dirigidas a apoyar a los países en el manejo de los problemas ambientales que constituyen riesgos para la salud humana, tales como los relacionados con el abastecimiento de agua y sus tratamientos para potabilizarla, donde indican parámetros y variables a considerar para una PTAP que son requeridos en el actual proyecto.

También aporta información al actual proyecto, un trabajo presentado a la universidad industrial de Santander por el estudiante Jerson Hernán Saavedra Bolívar, para optar por el título de ingeniero civil quien realizó: “El diagnóstico y optimización de la PTAP, municipio de Puente Nacional” En este proyecto el objetivo principal era observar el funcionamiento operacional y de mantenimiento que se maneja para cada unidad y equipo de la planta. La información recopilada por el investigador se realizó siguiendo el recorrido del agua en la planta, mediante la observación subjetiva del funcionamiento de los equipos y unidades de tratamiento junto con la colaboración de los operarios de turno que hicieron más preciso el informe con sus conocimientos respecto de los procesos que se realizan para tratar el agua (Bolívar, 2005).

Un tercer trabajo corresponde a Humberto Carlos Noya Romero y José Luis Pulgar Anillo este estudio tiene por objetivo “Automatizar las herramientas de evaluación del funcionamiento hidráulico de las PTAP convencionales” con el fin de generar diagnósticos rápidos al momento de comparar los parámetros de diseño y operación de estas plantas, con los establecidos en el RAS2017. La importancia del estudio reside en la necesidad de conocer el estado actual de las condiciones hidráulicas de las plantas en un corto tiempo. (Romero & Anillo, 2016)

6. Justificación

Los diagnósticos a plantas de tratamiento de agua potable, desempeñan un papel importante en torno al desarrollo socioeconómico de las comunidades, mejorando a su vez la calidad de vida, en caso dado que se dé un estudio incorrecto o ni si quiera se implemente, ocasionaría múltiples problemas socio ambientales y de salubridad entre otras, debido a que toda PTAP después de construida debe llevar un seguimiento de prevención y mantenimiento. Por lo tanto, los diagnósticos deben ser contemplados en todo desarrollo socioeconómico de cualquier población.

Para el caso de la planta de tratamiento de agua potable Guacavía del municipio de Cumaral, actualmente no cuenta con ningún estudio específico, que determine en qué condiciones se encuentran operando todo el tren de tratamiento de la planta potabilizadora. De acuerdo a esto la implementación del programa regional “Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente” (CEPIS), enfocadas en el mejoramiento de la calidad de agua para el consumo humana, siendo una herramienta para encontrar las posibles falencias de la PTAP, y mejorando la calidad de vida del casco urbano de Cumaral.

El presente trabajo se concentrará en realizar un diagnóstico del sistema operativo de la PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral, se pretende que la implementación de (CEPIS), nos dé a conocer si las condiciones diseñadas de la PTAP coinciden con las reales, para así poder contrastar esta información respecto a la normatividad vigente, además de esto comparar los parámetros fisicoquímicos con la resolución 2115 del 2007 y así plantear las alternativas de mejoramiento.

7. Marco Referencial

7.1. Marco Teórico:

- **Agua potable:** El agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos. La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento. Es responsabilidad de la entidad prestadora del servicio público de acueducto, controlar la calidad de agua en la red de distribución ya sea en puntos previamente escogidos como, por ejemplo, hidrantes o pilas diseñadas para recoger muestras, o en acometidas escogidas aleatoriamente. En dicho sitio debe darse cumplimiento como mínimo a los análisis organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en el artículo 19 del decreto nacional 1575 de 2007 por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable (RAS, 2017).
- **Canalete Parshall:** Es un elemento primario de caudal con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. (RAS, 2017)
- **Numero de Reynolds:** Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción. (RAS, 2017)
- **Planta de potabilización:** Se diseñará en función de los tipos de impurezas que se desea corregir y al uso que se destine el agua. La primera etapa en el acondicionamiento del agua es su potabilización, la cual dependerá de la calidad del agua, esto en función de la fuente de donde se obtenga (pozos, ríos y embalses). El agua de cada fuente presenta impurezas que le son características y por lo general sus tratamientos son diferentes (RAS, 2017).
- Los procesos unitarios de la planta de tratamiento de agua potable del presente trabajo se pueden ver en la siguiente tabla ([ver anexo 3](#)).

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- **Periodo y caudal de diseño:** Deben satisfacerse los requerimientos mínimos de agua para la población. El caudal de diseño de la planta de tratamiento debe ser el caudal máximo diario cuando se cuente con almacenamiento, o en su defecto el caudal máximo horario, los cuales están estipulados en el ras 2000 título c (RAS, 2017).
- **Resalto hidráulico:** Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a un régimen tranquilo (Subcrítico) y depende del número de Froude. (RAS, 2017)
- **Numero de Froude:** Son la relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad. (RAS, 2017)

$$Fr = v^2/(l*g)$$

- **Mezcla rápida:** Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua. (RAS, 2017)
- **Coagulación:** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes. (RAS, 2017)
- **Mezcla lenta o floculación:** Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos. (RAS, 2017)
- **Sedimentación:** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes. (RAS, 2017)
- **Carga superficial:** Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica (m³/m².día). (RAS, 2017)
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación. (RAS, 2017)
- **Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes. (RAS, 2017)
- **Tiempo teórico de detención (td):** Volumen de un reactor (v) dividido por el caudal (q) con que trabaja o el tiempo teórico que tarda una masa líquida en desplazarse de un punto a otro, suponiendo flujo pistón. (RAS, 2017)

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

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- **Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. (RAS, 2017)
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. (RAS, 2017)
- **Parámetros de diseño:** Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento. (RAS, 2017)
- **Prueba de jarras:** Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta. (RAS, 2017)
- **Turbiedad:** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión. (RAS, 2017)
- **Velocidad de filtración:** Caudal de filtración por unidad de área. (RAS, 2017)

7.2. Marco Conceptual:

En el proceso de potabilización de agua que se lleva a cabo en las PTAP, se interrelacionan diferentes conceptos y tratamientos que es necesario definir, en este punto para efectos de contextualizar el presente proyecto, según el (RAS, 2017), en el título C. Se define el Agua potable como el agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto Nacional 1575 de 2007 puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud y se dictan los parámetros específicos de funcionamiento. Así mismo se entiende por planta de potabilización como el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable, a partir de un tratamiento de agua siendo este el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicoquímicas y microbiológicas (Ministerio de la protección social, 2007).

La alcalinidad del agua puede determinar la capacidad para neutralizar ácidos, sus principales contribuyentes son los bicarbonatos. Para aguas con bajo nivel de alcalinidad se recomienda aumentar el pH agregando hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) o más conocido como cal hidratada,

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

también se puede ver su efecto en los mezcladores hidráulicos ya que puede afectar la velocidad con la cual los coagulantes hacen su reacción (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005).

La turbiedad es considerada uno de los indicadores más importantes para medir la calidad del agua. Cuando esta existe, se dificulta el paso de la luz a través de ella, debido a materiales insolubles en suspensión, coloidal o muy finos, estos están principalmente en aguas superficiales, dando un aspecto de suciedad. También puede verse afectado el proceso de desinfección ya que los microorganismos pueden encapsularse dentro de las partículas haciendo el proceso más lento (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005).

El color del agua puede ser originado por materiales disueltos y suspendidos. Antes de que el agua sea filtrada es conocido como color aparente, luego de dicho proceso es conocido como color verdadero y sus materiales suspendidos han sido removidos, tales como algas y demás partículas que puedan causar turbidez. El consumo de agua ricas en hierro y manganeso no tiene efectos perjudiciales para la salud; sin embargo, estas aguas al ser expuestas al oxígeno del aire se hacen turbias y coloreadas, teniendo un aspecto de suciedad (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005).

El pH en el agua puede determinar si es acida teniendo un rango de 0-7 o alcalina de 7-14, normalmente las aguas superficiales oscilan entre 6.5 a 8.5, un agua con un pH bajo podría causar daños prematuros en tuberías elaboradas de metal y problemas estéticos tales como un sabor metálico o amargo, la forma primaria para tratar este problema es con el uso de un neutralizador o inhibidores de corrosión tales como fosfatos inorgánicos, silicatos de sodio y mezclas de fosfatos (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005).

La desinfección es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad del agua, ayudando a eliminar los microorganismos patógenos que existen en el agua impidiendo su reproducción y crecimiento (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005).

En cuanto a la determinación de eficiencia de la planta, el (RAS, 2017) define la eficiencia de remoción como la medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica las cuales pueden variar según el periodo de diseño y caudal de diseño; El periodo de diseño se define como el tiempo para el cual se diseña un sistema, en el cual sus capacidades permite atender la demanda proyectada para este tiempo y el caudal de diseño es el caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. Los

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

parametros para el procedimiento general de los sistemas de potabilizacion se encuentran consignados en el (RAS, 2017), titulo C.

7.3. Marco Legal:

La normatividad colombiana de agua potable es regulada por una serie de parámetros físicoquímicos previamente establecidos los cuales permiten conocer si el agua es propicia para el consumo humano y así evitar enfermedades que causen daños a la salud en la población, estos parámetros varían según el país y son establecidos por el gobierno según sus políticas ambientales. Colombia cuenta con una variedad normativa, entre ellas se encuentra el Decreto Nacional 1575 de 2007 y la resolución 2115 del 2006. La primera establece el sistema para la protección y control de calidad del agua para el consumo humano con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud, aplicándose a aquellas personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para el consumo humano y la siguiente es por la cual se señalan características, instrumentos básicos, frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua de consumo humano, entre las características más importantes para este proyecto se encuentran en la siguiente tabla (Ministerio de la protección social, 2007).

Tabla 1.

Normatividad de la resolución 2115 del 2007

Parámetro	Resolución 2115 del 2007
Color verdadero	15 unidades
Turbiedad	2 unidades
pH	6.5 a .9.0
Traza de cloro	0.3 a 2.0
Alcalinidad	200 mg/L

Nota: Parámetros Físicoquímicos y sus valores máximos permisibles. Por Juan Camilo Loaiza;2018

Cualquier planta de tratamiento de agua potable de Colombia que se encuentre en operación y abastezca comunidades mayores a 2500 habitantes, debe estar concebida bajo el decreto 1575 del

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

2007 y la resolución 2115. En cuanto a diseño, operación y mantenimiento de PTAP se seguirán los parámetros establecidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS, 2017), específicamente en la sección II Título C “Sistemas de potabilización”.

La normatividad colombiana anteriormente mencionada, se debe tener en cuenta ya que esta directamente relacionada con con el tema como base principal de estudio. (Ver tabla 2)

Tabla 2.

Antecedentes de la norma, respecto al agua potable.

Jerarquía	Norma	Fecha	Alcance
Decreto	2811	1974	Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.
Decreto	3930	2010	Por el cual se dicta los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Ley	99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
RAS	Título C	2017	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
Decreto	1575	2007	El cual establece el sistema para la protección y control de calidad del agua para el consumo humano.
Resolución	2115	2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución	082	2009	Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.

Nota: Descripción de la normatividad ambiental nacional relacionada con el agua potable y el tema de estudio. Por Juan Camilo Loaiza;2018

8. Metodología

Los procesos metodológicos y las técnicas de evaluación empleadas en este proyecto se basaron en el programa regional CEPIS de mejoramiento de calidad de agua para el consumo humano, teniendo como objetivo general, “realizar un diagnóstico del sistema operativo de la PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta” con el propósito de identificar cuáles son los procesos unitarios ineficientes, de acuerdo a ello formular alternativas de mejoramiento. Esto permitirá evaluar, comparar y diagnosticar el estado de cumplimiento de la planta en términos de calidad, cantidad y continuidad del servicio. De acuerdo a esto se proponen cuatro objetivos específicos, los cuales se desarrollarán atendiendo el orden en el que han sido planteados, junto con las actividades a realizar para cada uno de ellos, describiéndose a continuación:

8.1. Diagnóstico de los procesos unitarios del sistema operativo de la PTAP.

La primera fase de este proyecto de grado comienza con el diagnóstico de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de agua potable, este se llevará a cabo mediante un trabajo de campo con la intención de obtener toda la información posible de operación que puede brindar la planta potabilizadora, tales como muestras de agua, planos de diseño, bitácoras de operación y mantenimiento. Se harán cinco visitas técnicas programadas para observar y describir el funcionamiento de cada uno de los procesos unitarios y así poder emitir un concepto de la situación actual de operación del sistema de tratamiento. Con base a esto se procederá a determinar en qué condiciones se encuentra operando actualmente la planta, teniendo en cuenta la capacidad para atender las necesidades actuales y futuras de la población, bajo los lineamientos del reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico (RAS, 2017).

Para poder empezar a determinar los parámetros hidráulicos primero se debe saber cuáles son los caudales propicios tenidos en cuenta para el diseño y operación de la PTAP, ya que estos determinan las condiciones de entrada y salida del agua en cada una de las unidades, de este modo el paso a paso según él (RAS, 2017) y el programa CEPIS son los siguientes:

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- Asignación del nivel de complejidad
- Población dotación y demanda.
- Proyección de poblacional (casco urbano)
- Calculo tasa de crecimiento (casco urbano)
- Periodo de diseño según el nivel de complejidad del sistema
- Población total Cumaral (casco urbano)
- Dotación neta y dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.
- Correcciones a la dotación neta.
- Variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad del sistema
- Asignación de Pérdidas.
- Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnica.
- Dotación bruta.
- Estimación de la demanda.
- Caudal máximo diario.
- Coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , según el nivel de complejidad del sistema
- Caudal máximo horario.
- Coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según el nivel de complejidad del sistema y el tipo de red de distribución.
- Caudal de diseño de la planta de potabilización.
-

8.1.1. Proyección poblacional.

Es necesario determinar la proyección poblacional del municipio para poder comprobar la capacidad de carga que puede abastecer la planta de tratamiento de agua potable y su vida útil, estableciendo un nivel de complejidad del sistema. Para la cual se utilizará el método lineal, geométrico y logarítmico; del cual tenemos la siguiente formula. (RAS, 2017)

Tabla 3.

Ecuaciones para proyección poblacional.

Método	Descripción	Ecuación
Método lineal	Para este método la tasa de crecimiento se calcula de la siguiente manera.	$m = \frac{Pu - Pc}{Tu - Tc}$
Método geométrico	Para este método se calcula la tasa de crecimiento así.	$r = \left(\frac{Pu}{Pc} \right)^{\left(\frac{1}{Tu - Tc} \right)} - 1$
Método logarítmico	La tasa de crecimiento se calculó de la siguiente forma	$k = \frac{\text{Ln}Pu - \text{Ln}Pc}{Tu - Tc}$

Nota: Descripción de los métodos lineal, geométrico y logarítmico para determinar la para proyección poblacional.
Por Juan Camilo Loaiza;2018

Dónde: (Aplica para las tres ecuaciones)

Pu: Población (hab.) correspondiente al último año censado con información.

Pc: Población (hab.) correspondiente a cualquier año censado que se considere.

m, k, r: Tasa de crecimiento anual (habitantes por año).

Tu: Año correspondiente al último año censado con información.

Tc: Año correspondiente a cualquier censo considerado.

8.1.2. Dotación bruta:

El título B 2.6 del (RAS, 2017) establece que la dotación bruta debe calcularse según la siguiente ecuación.

$$d_{bruta} = \frac{dneta}{1 - \%p}$$

Donde:

dbruta: Dotación bruta (l/hab-día).

dneta: Dotación neta (l/hab-día).

%P: Porcentaje de pérdidas.

8.1.3. Estimación de la demanda.

El caudal medio diario, según (RAS, 2017) literal B.2.7.1 es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada.

$$d_{bruta} = \frac{(P * d_{neta})}{86400}$$

Donde:

Qmd: Caudal medio diario l/s.

P: Población proyectada en número de habitantes.

d bruta: Dotación bruta en (l/hab-día).

8.1.4. Caudal máximo diario.

Este caudal corresponde al caudal medio diario afectado por un coeficiente de consumo máximo K1 de 1.2, la ecuación con la cual se calculó este valor es la siguiente.

$$QMD = Qmd * k1$$

Donde:

QMD: Caudal máximo diario en l/s.

Qmd: Caudal medio diario en l/s.

k1: Coeficiente de consumo máximo diario.

8.1.5. Caudal máximo horario.

El caudal máximo horario (QMH) corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, (k2), el cual va relacionado al nivel de complejidad y el tipo de red de distribución, previendo el seguro suministro del caudal en la red de distribución se tomará este coeficiente K2 de 1.5.

$$QMH = QMD * k2$$

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

Donde:

QMH: Caudal máximo horario en l/s

Qmd: Caudal medio diario en l/s

k2: Coeficiente de consumo máximo diario

8.2. Evaluar los diseños hidráulicos teóricos y reales en la PTAP

Para saber en qué condiciones está operando cada proceso unitario de la planta es necesario conocer el funcionamiento hidráulico de la misma, por lo tanto, se debe realizar un chequeo en las diferentes estructuras, verificando parámetros como velocidades y gradientes. Las variables a determinar estructural e hidráulicamente de cada proceso unitario de la planta de tratamiento de agua potable serán bajo los lineamientos del libro “Elementos De Diseños Para Acueductos Y Alcantarillados” y son las siguientes. (Organización Mundial de la Salud (CEPIS), 2005)

- Determinación de la lamina de agua.
- Cámara de quietamiento.
- Cámara de alivio.
- Canaleta Parshall.
- Canal de entrada.
- Parámetros del floculador Alabama
- Sedimentador.
- Paso del floculador al sedimentador.
- Paso de la flauta al sedimentador.
- Paso de la canaleta de salida de agua sedimentada.
- Filtros.
- Espesores del lecho filtrante.
- Falso fondo de fibra de vidrio.
- Lavado del filtro.
- Evacuación de lodos en el floculador.
- Evacuación de lodos en el sedimentador.
- Evacuación de lodos en el filtro.

Las formulas aplicadas se podrán ver detalladamente ([Ver Anexo 4](#)).

Los resultados de los cálculos hidráulicos teóricos se compararán respecto a los construidos en la planta de tratamiento de agua potable de esta manera se podrá comprar respecto a la normatividad vigente, emitiendo un concepto de cumplimiento.

8.3. Analizar la información de los parámetros fisicoquímicos y comparar respecto a la Resolución 2115/07.

En esta etapa del proyecto se procesará toda la información recolectada sobre las características fisicoquímicas en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua potable durante el periodo de enero a diciembre del año 2016. Este análisis se desarrollará con R Studio y otras herramientas gratuitas, relacionando los datos obtenidos de la comparación de los parámetros de alcalinidad, cloro residual, color, pH y turbiedad, respecto a la resolución 2115 del 2007, presentando resultados de manera gráfica en qué punto y periodo de tiempo no se está cumpliendo, de acuerdo a esto poder establecer alternativas de mejoramiento para la PTAP.

- **Alcalinidad:** Esta medida indica como estabilizar el agua en casos fluctuantes de PH. (RAS, 2017)
- **Cloro residual:** El objetivo de este es poder conocer y controlar la concentración de cloro residual en el agua dentro del rango. (RAS, 2017)
- **Color:** Tiene como finalidad dar a conocer que el agua lleve consigo sustancias como iones metálicos, naturales, humus y materia orgánica disuelta. (RAS, 2017)
- **pH:** Al saber el pH del agua se evitará que los niveles lleguen a ser demasiado básicos o ácidos. (RAS, 2017)
- **Turbiedad:** Se determinara la frecuencia de ocurrencia de turbiedad en la planta; Para esto se agruparan los datos y rangos predeterminados y luego se analizaran, para establecer cuáles son las turbiedades más frecuentes en la planta (RAS, 2017)

8.4. Plantear las alternativas de mejoramiento.

En la fase final del proyecto se relacionará toda la información obtenida de las etapas anteriormente mencionadas, donde se obtuvo una descripción de cada proceso unitario de la PTAP, la evaluación de los diseños hidráulicos teóricos y reales, el análisis de los parámetros fisicoquímicos respecto a la normatividad, identificando que procesos posiblemente están operando ineficientemente, de acuerdo a esto se proponen las alternativas de mejoramiento

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

para la planta de tratamiento de agua potable. El proceso metodológico del presente trabajo es representado en un diagrama de flujo.

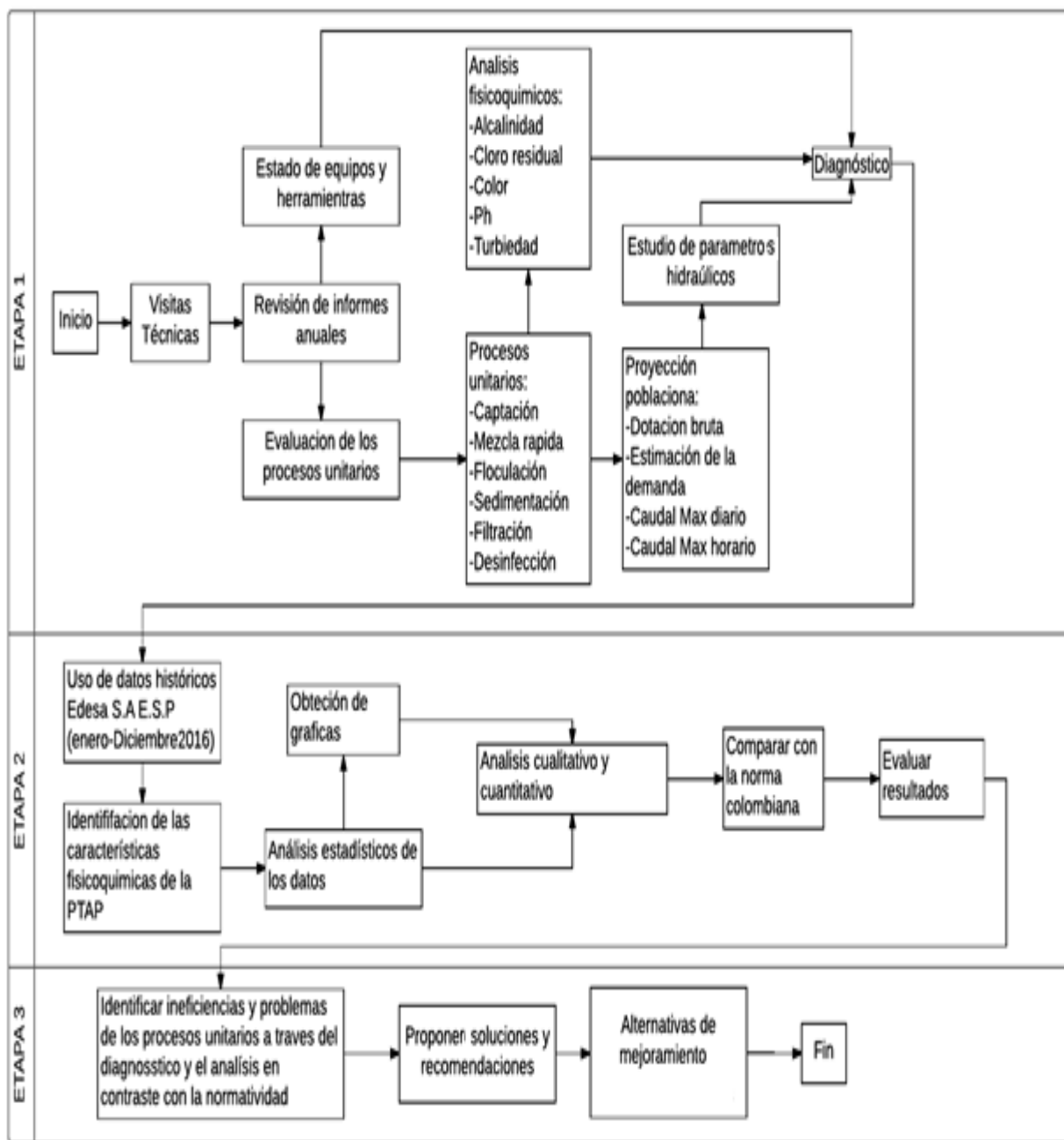


Figura 1. Se describe la metodología del paso a paso del actual proyecto en un diagrama de flujo, por Juan Camilo Loaiza, 2018.

9. Resultados

De acuerdo al desarrollo de las actividades propuestas en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

9.1. Diagnóstico de los procesos unitarios, estado de equipos y herramientas de la PTAP.

Se ejecuta el diagnóstico de la operación actual de la PTAP, sin intervenir los equipos estructuralmente; se realizó una revisión de cada uno de los componentes del sistema.

Las unidades paso a paso de tratamiento son las siguientes: una cámara de floculación, dos sedimentadores con paneles hexagonales tipo panal y dos lechos filtrantes individuales con arena, grava y antracita. Posee 3 bombas dosificadoras, de las cuales 2 son en seco para Neutralizante (Cal hidratada), Coagulante (Sulfato de aluminio) y por ultimo una para el desinfectante (Di cloro), el agua tratada es almacenada en un tanque en concreto; de allí se distribuye por gravedad y mediante la manipulación de válvulas se sectoriza el servicio de agua potable a la comunidad, se hace una breve descripción de cada una a continuación:

- **Captación:** El recorrido se inicia en la bocatoma del cual se abastece la PTAP, siendo el rio Guacavia, este queda ubicado a 30 minutos de la planta potabilizadora, diseñada en una estructura de concreto, instalada en el margen izquierdo del rio.
- **Desarenador:** La captación realizada desemboca en el desarenador de la PTAP que por medio de gravedad es transportada, El caudal es controlado.
- **Aducción:** La bocatoma se diseñó para captar el agua superficial proveniente directamente del rio Guacavia, por medio de compuertas se regula el caudal. Los tipos de captación, así como los aspectos técnicos particulares que deben tenerse en cuenta para el diseño, construcción y operación de las bocatomas, están contenidas en el Título B del RAS: Sistemas de Acueducto. El fontanero está encargado del mantenimiento de la bocatoma, pero también interviene la cuadrilla de operadores en caso de emergencia.
- **Pretratamiento:** Para comenzar con el pre tratamiento, se inicia a disminuir la velocidad del caudal y medición del mismo

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- **Coagulación:** En este proceso se desestabilizan químicamente las partículas que se producen al adicionar el neutralizante, por medio del coagulante químico (Sulfato de aluminio) y la aplicación de la energía de mezclado
- **Floculación:** En la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad, pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse.
- **Sedimentación:** La sedimentación o decantación es el proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad. Por lo general, las aguas en movimiento arrastran partículas granulares y material flotante. La remoción de dichos materiales se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención. Este proceso se produce en los sedimentadores. El sedimentador de la PTAP es un tanque de sección rectangular, cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga.
- **Filtración:** La PTAP Guacavía cuenta con Filtros rápidos de gravedad, estos se utilizan en las plantas de tratamiento para la filtración de grandes volúmenes de agua previamente coagulada, Tienen forma rectangular y se lavan con agua tratada que se introduce de abajo hacia arriba (sistema que se denomina de retro lavado). Debido a ello, se construyen en áreas más pequeñas. Están conformados por una caja de concreto en el fondo de la cual hay un sistema de canalización central y canales laterales cubiertos por varias capas y diámetros de grava que sostienen la capa de arena gruesa y la de arena preparada
- **Desinfección:** La desinfección es una medida que se debe adoptar en todos los sistemas de abastecimiento, bien con carácter correctivo, bien preventivo. Esto se debe a que toda agua pura o purificada en una estación de tratamiento puede tener un largo recorrido hasta el momento en que es consumida, la desinfección del agua en la PTAP se realiza con cloro gaseoso.
- **Tanque de almacenamiento:** La capacidad del tanque en la planta de tratamiento de agua potable 400 m³ en material impermeabilizado que garantiza su conservación de la calidad del agua tratada.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- **Efluente o Conducción:** Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que se instalan para conducir el agua desde el tanque de almacenamiento (PTAP) hasta las conexiones o acometidas domiciliarias y otras como hidrantes o piletas públicas.
- **Observaciones:** El permiso de captación no ha sido actualizado, usan tubos de PVC como obstáculos para disminuir la velocidad del caudal y por último la tubería que transporta el recurso hídrico hacia la población, por el tiempo en que fueron construidos, podrían presentar fugas y pérdidas de presión.

-

9.2. Situación actual de operación del sistema de tratamiento.

La planta opera durante las 24 horas del día; Para mayor eficiencia del recurso y reducir pérdidas de agua, el recurso es sectorizado mediante válvulas que son operadas por el personal de EDESA S.A, la pérdida de presión a través de las líneas de distribución es evidente por largas distancias para llegar a los diferentes barrios, afectando a la población en el servicio de agua.

En estos tipos de sistemas donde el objetivo principal es generar agua potable para consumo humano, se lleva un riguroso seguimiento operativo de la PTAP, implicando que el operador de turno este monitoreando periódicamente la calidad del agua en planillas, tanto de entrada como de salida y así mismo estar verificando continuamente la dosificación de los productos químicos, requiriendo en gran medida del uso de los equipos de medición y análisis, los cuales se deben verificar o calibrar con la frecuencia recomendada por el fabricante; Estos permiten observar los cambios que se presentan sin previo aviso en la entrada del agua cruda y así utilizar las herramientas adecuadas para tomar acciones preventivas y/o correctivas inmediatas.

Actualmente el agua cruda llega desde el desarenador por medio de tubería de aducción a la canaleta Parshall donde se regula el caudal de entrada a la planta y el agua restante es devuelta al río por medio de un canal. El agua a tratar es conducida por el canal de floculación donde reaccionan los químicos; Luego el agua se distribuye por medio de válvulas de compuerta a los sedimentadores ascendentes y por medio de reboce en las flautas de PVC, pasa a los filtros que son controlados por válvulas de compuerta. El filtro está conformado por grava, arena y antracita. Posteriormente y como parte final del proceso de tratamiento, el agua es conducida a un tanque donde se realiza el proceso de desinfección para ser distribuida a la comunidad.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

En temporada de invierno el agua cruda llega con alta turbiedad lo que genera mayor acumulación de lodos en el fondo de los sedimentadores y filtros, aumentando así la probabilidad de que la planta disminuya su eficiencia y los retro lavados no sean suficientes para evacuar los lodos acumulados. La descripción en cantidad de equipos, personal operativo y administrativo se podrá ver ([Ver anexo 5](#)).

9.3. Diseño conceptual: Definición del nivel de complejidad del sistema

9.3.1. Asignación del nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Poblaciones en las zonas urbanas(1)(Habitantes)	Capacidad económica de los usuarios(2)
Medio Alto	12501 a 60000	Media

La población que debe utilizarse para clasificar el nivel de complejidad corresponde a la proyectada en el periodo de diseño de cada sistema o cualquiera de sus componentes.

Para el presente proyecto se estimará la tasa de crecimiento general de la población de Cumaral. La capacidad económica de la población es contemplada como Baja. El nivel de complejidad del sistema adoptado debe ser el que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población urbana y la capacidad económica. En ningún caso se permite la adopción de un nivel de complejidad del sistema más bajo que el establecido.

El nivel de complejidad del presente proyecto se asume preliminarmente como MEDIO ALTO, si se tiene en cuenta que de acuerdo a las proyecciones del DANE la población para el año 2017 es de 12.487 habitantes, la cual ajustada al año de proyección (2030) podría ubicarse en el rango MEDIO ALTO.

9.3.2. Población dotación y demanda.

Para el caso de este proyecto, los datos de población fueron tomados de las bases de datos obtenidas en el Departamento Nacional de Estadística DANE, en los cuales la población según

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

datos obtenidos del municipio, en 2005, ascendía a 10680 habitantes aproximadamente; por lo tanto, con base en las proyecciones del DANE de 2005 a 2017, se realiza el cálculo de la tasa de crecimiento mediante la proyección lineal, geométrica y logarítmica de la siguiente forma:

Tabla 4.

Proyecciones de población dane (casco urbano)

AÑO	POBLACION
2005	10.680
2006	10.850
2007	11.023
2007	11.182
2009	11.340
2010	11.504
2011	11.658
2012	11.813
2013	11.954
2014	12.099
2015	12.230
2016	12.364
2017	12.487

Nota: Cifras de la proyección poblacional determinada por el Dane, Por Juan Camilo Loaiza;2018

El cálculo de estas tasas de crecimiento se realizó con cada uno de los censos consecutivos, obteniendo censo a censo una tasa de crecimiento y cuyo valor promedio se calculó para obtener una tasa general. El año de proyección de población se define según los periodos de diseño para los componentes del sistema en este caso 2005-2030 debido a la complejidad del sistema MEDIO ALTO.

Tabla 5.

Calculo tasa de crecimiento (casco urbano)

Año	Población		Lineal	Geométrico	Logarítmico
2005	10680				
2006	10850		170	0,01592	0,01579
2007	11023		173	0,01594	0,01582
2008	11182		159	0,01442	0,01432
2009	11340		158	0,01413	0,01403
2010	11504		164	0,01446	0,01436
2011	11658	Censo a censo	154	0,01339	0,01330
2012	11813		155	0,01330	0,01321
2013	11954		141	0,01194	0,01187
2014	12099		145	0,01213	0,01206
2015	12230		131	0,01083	0,01077
2016	12364		134	0,01096	0,01090
2017	12487		123	0,00995	0,00990
Año Final 2030	Tasa de crecimiento		150,6	0,01311	0,01303

Nota: Resultados de la tasa de crecimiento del municipio de Cumaral. Por, Juan Camilo Loaiza;2018

9.3.3. Periodo de diseño según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño
Medio alto	25 años

El cálculo de la población final para proyección a 25 años en el casco urbano del municipio de Cumaral (nivel de complejidad Medio Alto), presenta como población futura 17294 habitantes, con este resultado se verifica que el nivel de complejidad del sistema es Medio Alto.

Tabla 6.

Población total Cumaral (casco urbano)

Método	Lineal	Geométrico	Logarítmico
Población proyectada	16251	17294	17293
Población final	17294 habitantes		

Nota: Se escoge el método que se ajuste más con la tendencia de crecimiento en la población de la inspección de Cumaral o la población más alta brindando así un colchón de amortización, por Juan Camilo Loaiza;2018.

Se escoge el método que se ajuste más con la tendencia de crecimiento en la población de la inspección de Cumaral o la población más alta brindando así un colchón de amortización.

9.3.4. Dotación neta.

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema; según el Título B.2.4 del RAS 2017, se fijan los valores mínimos y máximos de dotación dependiendo del nivel de complejidad.

9.3.5. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta	Dotación neta
	Mínima l/hab-día	Máxima l/hab-día
Medio alto	130	-

En el caso del presente proyecto, la dotación neta se toma como 130 l/hab-día.

9.3.6. Correcciones a la dotación neta.

Esta dotación neta se corrige teniendo en cuenta el efecto del clima predominante en la zona, por lo tanto, se incluye una corrección del 20% por clima. Título B.2.5.4 del RAS 2017.

9.3.7. Variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad.

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (más de 28°C)	Clima templado (entre 20°C y 28°C)	Clima frío (menos de 20°C)
Medio alto	+20%	+15%	No se admite corrección por clima

Incluyendo la corrección por clima, la dotación neta es de 156 l/hab-día.

9.3.8. Pérdidas.

El literal B.2.5.4 del RAS 2017 define como pérdidas técnicas a la diferencia entre el volumen de aguas tratadas y media a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen entregado a la población medido en las acometidas domiciliarias del municipio.

9.3.9. Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnica.

Nivel de complejidad del sistema	Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de dotación bruta
Media alto	25%

El nivel de pérdidas técnicas se máximas permitidas por el RAS 2017 para un nivel de complejidad Medio Alto es del 25%

9.3.10. Dotación bruta.

$$d_{bruta} = \frac{156}{1 - 0,25} = 208 \frac{l}{hab/día}$$

La dotación bruta calculada para un nivel de complejidad Medio Alto, con una dotación neta de 156 l/hab-día y un porcentaje de pérdidas técnicas del 25 % es de 208 l/hab-día.

9.3.11. Estimación de la demanda.

El caudal medio diario, según RAS 2017 literal B.2.7.1 es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada.

$$d_{bruta}(2017) = \frac{12487 * 208}{86400} = 30,7 \frac{l}{día} \quad d_{bruta}(2030) = \frac{17294 * 208}{86400} = 41,7 \frac{l}{día}$$

El caudal medio diario calculado para el año 2017 es de **30,7 l/s** y para el año 2030 es de **41.7 l/s**.

9.3.12. Caudal máximo diario.

Este caudal corresponde al caudal medio diario afectado por un coeficiente de consumo máximo K1 de 1.2 El caudal calculado para el año 2017 = **30,7 l/s** y 2030 = **41.7 l/s**.

$$QMD(2017) = 30,7 * 1,2 = 36,8 \frac{l}{s} \quad QMD(2030) = 41,7 * 1,2 = 50,04 \frac{l}{s}$$

9.3.13. Coeficiente de consumo máximo diario, k1, según el nivel de complejidad.

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario –k1
Medio alto	1.20

9.3.14. Caudal máximo horario.

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, (k2), el cual va relacionado al nivel de complejidad y el tipo de red de distribución, previendo el seguro suministro del caudal en la red de distribución se tomará este coeficiente K2 de 1.5.

9.3.15. Coeficiente de consumo máximo horario, k2, según el nivel de complejidad y la red de distribución.

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Medio alto	1.50	1.45	1.40

$$QMH(2017) = 36,8 * 1,5 = 55,2 \frac{l}{s} \quad QMH(2030) = 50,04 * 1,5 = 75,06 \frac{l}{s}$$

El QMH calculado para el año 2017 es de **55.2 l/s** y para el año 2030 es de **75.06 l/s**

9.3.16. Caudal de diseño de la planta de potabilización.

De acuerdo a lo establecido por el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2017 en el Título A artículo 103 ítem A.11.2.1.1, el cual determina que el caudal de diseño de la PTAP debe ser el caudal máximo diario cuando se cuente con almacenamiento o en su defecto el caudal máximo horario.

Aunque en el municipio de Cumaral cuenta con tanque de almacenamiento de agua tratada, se tomará como caudal de diseño el caudal máximo horario teniendo en cuenta que en dicho municipio aún no se cuenta con un plan de uso eficiente y ahorro del agua.

9.4. Análisis de los parámetros hidráulicos.

De acuerdo a las condiciones de diseño determinadas por la proyección poblacional requiriendo una demanda de caudal, se establecerá de qué manera se está comportando el flujo del agua teóricamente para hacer una comparación con la realidad y poder emitir un concepto de cumplimiento. Los planos de diseño entregados por la empresa de servicios públicos Edesa S.A E.S. P, indican que la PTAP es una plata convencional, para el análisis se tendrán el siguiente paso a paso:

- Análisis de aforo del caudal.
- Análisis de la canaleta Parshall.
- Análisis del proceso de floculación.
- Análisis del proceso de sedimentación.
- Análisis del proceso de filtración.

Tabla 7.

Dimensiones típicas de medidores (cm)

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	
6"	15.2	62.1	61.0	39.4	40.3	45.7	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	61.0	30.5	45.7	7.6	11.4

Nota: Constantes según el tipo de canaleta Parshall "J.M de Acevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 472,474", Por Juan Camilo Loaiza Soto.

Tabla 8.

Rango de caudales de operación en Parshall.

Ancho de garganta W		Caudal Q(l/s)	
Pulg	Cm	Minimo	Maximo
6"	15.2	1.52	110.4
9"	22.9	2.55	251.9

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

Nota: Caudales mínimos y máximos según la canaleta Parshall “J.M de Acevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 472,474”, Por Juan Camilo Loaiza Soto

Para la realización de aforos y el proceso de mezcla se diseña una canaleta Parshall con un ancho de garganta de 6” equivalente a 15,2 Cm, según lo dictan las memorias de cálculo entregadas por parte de la empresa de servicios públicos Edesa S.A E.S.P. y se corrobora de acuerdo a la demanda requerida por la proyección poblacional.

9.4.1. Análisis de aforo del caudal.

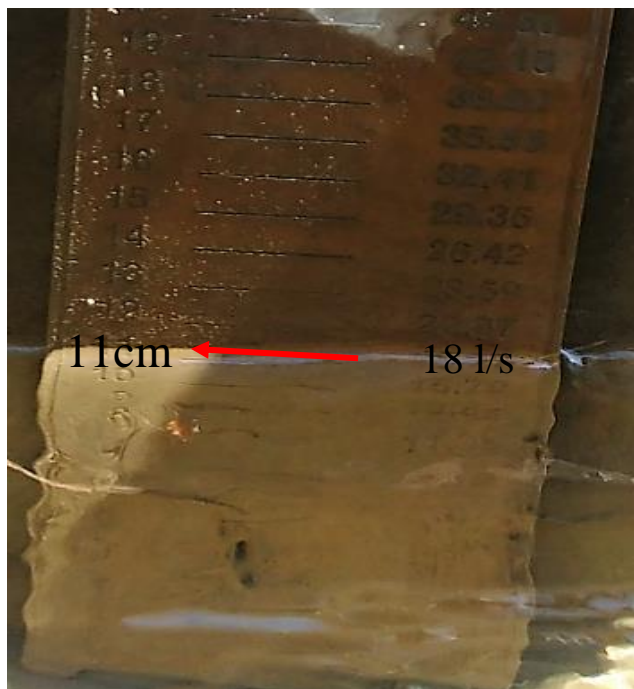


Figura 2. Aforo para determinar el nivel de caudal en la canaleta Parshall, Por; Juan Camilo Loaiza.

Se realizan aforos con el propósito de conocer el comportamiento del caudal y de acuerdo a esto en que cantidades se están dosificando los químicos para tratar el agua, El aforo más destacados es del día 29 de marzo del 2017. La canaleta Parshall cuenta con una regla ubicada a la margen izquierda, la cual indica el caudal (Q) de acuerdo a una determinada altura (h_0), como se observa

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

en la Figura 2. El nivel del agua marca 18 l/s que corresponde a una altura de lámina de 11 cm. Estos datos se calculan y se corroboran.

Tabla 9.

Aforo en la canaleta Parshall.

Formula: $Q=k*h^n$	unidades	
w	6"	pulgadas
k	0,381	m
n	1,58	
ho	0,11	m
Q	0,1164	m ³ /s
Q	11,64	l/s

Nota: Aforo, Por JuanC.L

Tabla 10.

Aforo en la canaleta Parshall

Formula: $ho=k*Q^n$	unidades	
w	6"	pulgadas
Q	0,018	m/s
k	1,842	
m	0,636	
ho	0,14310	m
ho	14,31	cm

Nota: Aforo, Por JuanC.L

Como observa en la tabla 9 y 10 de los cálculos realizados se determina que para un caudal de 18 l/s se necesita una altura (ho) de 14 cm, debido a que una altura de 11 cm como lo indica la figura 1 correspondería a un caudal de 11 l/s en una canaleta Parshall de 6' (pulgadas). Por lo tanto, los aforos no se estarían realizando correctamente ya que la regleta corresponde a una canaleta Parshall de 9" (pulgadas), afectando los procesos siguientes como la dosificación del coagulante químico (sulfato de aluminio).

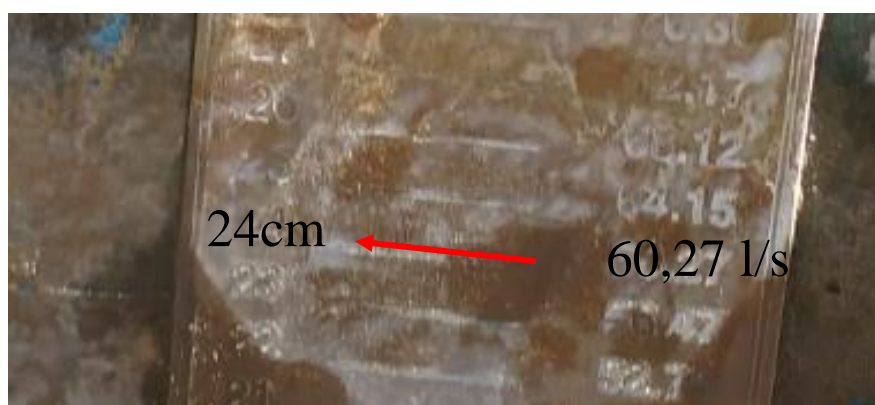


Figura 3. Aforo para determinar el nivel de caudal en la canaleta Parshall, Por; Juan Camilo Loaiza Soto

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

Según las bitácoras de la PTAP Guacavía, entregadas por la empresa de servicios EDESA S.A. La planta potabilizadora actualmente trabaja con un caudal de 60 litros según lo indica los aforos por la regleta de la canaleta Parshall. De acuerdo a esto se corrobora la información realizando los cálculos.

Tabla 11.

Aforo canaleta Parshall.

F: $Q = k \cdot h^n$	Unidades
w 9'	Pulg
K 0,535	
n 1,53	
ho 0,24	m
Q 0,060266	m ³ /s
Q 60,2666	L/s

Nota: Aforo, Por JuanC.L

Tabla 12.

Aforo canaleta Parshall.

F: $h_o = K \cdot Q^m$	Unidades
w 9'	pulg
Q 0,060	m ³ /s
k 1,486	
m 0,633	
ho 0,025	m
ho 25,06	Cm

Nota: Aforo, Por JuanC.L

Tabla 13.

Aforo canaleta Parshall.

F: $Q = k \cdot h^n$	Unidades
w 6'	Pulg
K 0,381	
n 1,58	
ho 0,30	m
Q 0,05684	m ³ /s
Q 56,85	L/s

Nota: Aforo, Por JuanC.L.

Según los cálculos realizados, se puede observar en las tablas 11,12 y 13 que:

- La garganta (w) de la canaleta Parshall en la PTAP Guacavía es de 9' (pulgadas).
- El caudal real con que está trabajando la PTAP Guacavía es de 60 l/s.
- Para cumplir con los parámetros de diseño se necesita que la altura de la lámina (ho) sea de 30 cm, para tener un caudal de 55,2 l/s en una canaleta Parshall de 6' (pulgadas) o en caso dado de 23 cm en una canaleta Parshall de 9'' (pulgadas).
-

9.4.2. Análisis de la canaleta Parshall.

La canaleta Parshall es la forma más común de generar un resalto hidráulico, este debe producirse en la garganta, por lo que el dispositivo debe diseñarse para garantizar esta condición. Según (Valencia, 2000) la relación para una canaleta de 3'' a 9'' (pulgadas), el H_b/H_a debe ser de 0.6, debido a que puede manejar un caudal mínimo de 0,85 l/s y máximo de 252 l/s.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

Tabla 14.

Condiciones físicas de la canaleta Parshall.

	Canaleta Parshall 6” (Condición teórica)	Canaleta Parshall 9” (Condición real)	Unidades
Caudal	55,2	60	l/s
Ancho del canal	1,60	1,60	m
Velocidad del canal	0,30	0,28	m
Ancho de la garganta(w)	0,15	0,22	m
Ancho de la garganta sección (D)	0,40	0,57	m
Altura del escalón (n)	0,11	0,22	m
Altura de la lámina de agua (ho)	0,30	0,25	m
Ancho de la entrada sección (D)	0,31	0,46	m

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales de la Canaleta Parshall, Por Juan Camilo Loaiza.

Al realizar las mediciones físicas de las condiciones reales de la PTAP Guacavía, se puede observar en la tabla 14 que:

- El diseño hidráulico de la canaleta Parshall contempla que el ancho de garganta es de $w=6''$, pero en realidad, la canaleta actualmente en la planta es de $w=9''$, por lo tanto, no es congruente lo diseñado a lo construido. Esto dificulta los análisis del diagnóstico pues la nos enfrenta a una confusión en la información suministrada. Por tal razón se vio la necesidad de hacer una constante comparación entre lo teórico y lo real para poder determinar las condiciones operativas del sistema.
- De acuerdo a lo anterior, los diseños para una canaleta de $w=6''$, no son los mismos para una de $w=9$ debido a que cada una tiene sus constantes, modificando su diseño físico de cada proceso unitario. La canaleta Parshall no presenta resalto hidráulico, afectando directamente la mezcla instantánea de los coagulantes. Para subsanar la usencia de resalto hidráulico, los operarios han instalado obstáculos como piedras y tubos ([Ver anexo 6](#)).

Tabla 15.

Condiciones hidráulicas de la canaleta Parshall.

	Canaleta Parshall 6” (Condición teórica)	Canaleta Parshall 9” (Condición real)	Unidades
Velocidad en la sección (V_o)	0,59	0,52	m
Energía específica (E_o)	0,42	0,49	-
Velocidad antes del resalto (v_1)	2,27	2,8	m/s
Altura antes del resalto hidráulico (h_1)	0,159	0,09	m
Numero de Froude (nf)	1,82	2,9	-
Altura después del resalto (h_2)	0,33	0,34	m
Grado de sumergencia	0,76	0,45	-
Gradiente de velocidad (G)	0,29	0,39	-

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales de la Canaleta Parshall, Por Juan Camilo Loaiza.

Según él (RAS, 2017) un resalto hidráulico no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2,5 a 4,5. La velocidad antes del resalto debe ser mayor a 2 m/s. Al realizar los cálculos hidráulicos de las condiciones reales de la PTAP Guacavía, se puede observar en la tabla 15 que:

- El número de Froude es de 2,9 siendo un salto hidráulico oscilante, de igual manera la canaleta Parshall no cuenta con resalto hidráulico debido a un mal procedimiento a la hora de la construcción de la caleta, afectando las condiciones de diseño, los porcentajes en que se debería dosificar y el tiempo de aglomeración de las partículas en la coagulación.
- La velocidad antes del resalto hidráulico es de 2,8 cumple con la norma, pero aun faltaría que la canaleta Parshall este en las condiciones de general el resalto hidráulico.
- Las condiciones hidráulicas reales sobrepasan las diseñadas.

9.4.3. Análisis del proceso de Floculación.

La PTAP Guacavía cuenta con dos floculadores y un total de doce cámaras, en él (RAS, 2017) se establecen los requisitos mínimos de diseño de las unidades de floculación. Los floculadores tipo Alabama debe ubicarse un codo en cada cámara para impulsar el fluido hacia arriba. Los codos deben colocarse de forma alternada, en una cámara a la derecha y en la que sigue a la izquierda, también se deben cumplir parámetros como:

- El tiempo de detención debe estar entre 20 y 40 min.
- El gradiente de velocidad debe estar entre 20 s⁻¹ y 70 s⁻¹.
- En los codos la velocidad debe estar entre 0.4 m/s y 0.2 m/s.

Tabla 16.

Condiciones físicas del floculador.

	Floculador Alabahama (Condición teórica)	Floculador Alabahama (Condición real)	Unidades
Numero de floculadores	2	2	-
Caudal para cada floculador	27,6	30	l/s
Tiempo de retención	25	1500	min
Ancho de cada cámara	0,70	0,70	m
Longitud de cada cámara	1,40	1,40	m
Profundidad de cada cámara	2,50	2,50	m

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales del floculador, Por Juan Camilo Loaiza.

Tabla 17

Condiciones hidráulicas del floculador.

	Floculador Alabahoma (Condición teórica)	Floculador Alabahoma (Condición real)	Unidades
G de velocidad (1,2,3)	26,05	27,16	s-1
G de velocidad (4,5,6)	24,13	25,15	s-1
G de velocidad (7,8,9)	23,18	24,16	s-1
G de velocidad (10,11,12)	21,33	22,24	s-1
Volumen de cada cámara (vc)	4,90	4,90	m ³
Volumen del floculador (vf)	41,14	45	m ³
Tiempo de retención de cada cámara(tr)	20	20	min
Velocidad entre codos (1,2,3)	0,43	0,46	m/s
Velocidad entre codos (4,5,6)	0,37	0,40	m/s
Velocidad entre codos (7,8,9)	0,34	0,37	m/s
Velocidad entre codos (10,11,12)	0,29	0,31	m/s

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales del floculador, Por Juan Camilo Loaiza.

Al realizar los cálculos hidráulicos de las condiciones reales de la PTAP Guacavía, se puede observar en la tabla 17 que:

- Los gradientes de velocidad están en los parámetros mínimos de cumplimiento, posiblemente ocasionando que el proceso sea más lento de esta manera sobrecargando el floculador en épocas de invierno.
- El tiempo de retención es de 25 minutos estando en el rango establecido por la normatividad.
- La velocidad entre codos sobre pasa lo establecido por la norma en un 0,6 m/s.

9.4.4. Análisis del proceso de sedimentación.

De acuerdo a los planos entregados por la empresa de servicios públicos Edesa S.A E.S. P, la planta potabilizadora cuenta con 2 sedimentadores cada uno de cuatro módulos. El (RAS, 2017) establece las condiciones hidráulicas para los cuatro niveles de complejidad del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro tipos de sistema, a no ser que se especifique lo contrario, en este caso son sedimentadores de flujo vertical, siendo las siguientes:

- Tiempo de detención entre celdas esta entre 10 min y 15 min.
- La profundidad del tanque debe estar entre 4 m y 5.5 m.
- La carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 m³/(m². día)
- El número de Reynolds (Re) debe ser menor a 500, se recomienda un Reynolds menor a 250 garantizando un flujo laminar.

Tabla 18.

Condiciones físicas del sedimentador

	Sedimentador (Condición teórica)	Sedimentador (Condición real)	Unidades
Caudal de diseño	14	15	l/s
Longitud del sedimentador	6	6	m
Ancho del sedimentador	2,2	2,2	m
Profundidad	4,0	3,0	m
Sección del cuadro del modulo	0,050	0,050	m
Longitud del modulo	1,04	1,04	m
Sc (Tubos cuadrados)	1,375	1,375	-

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales del sedimentador, Por Juan Camilo Loaiza.

Tabla 19.

Condiciones hidráulicas del sedimentador.

	Sedimentador (Condición teórica)	Sedimentador (Condición real)	Unidades
Carga superficial (Cs)	120,21	124,40	m ³ /(m ² .dia)
L. relativa del sedimentador (L)	20	20	m
L. relativa del sedimentador (L')	1,130	1,130	m
L. relativa corregida en la l. de transición	18,87	18,87	m
V. critica de asentamiento según la ecuación de YAO	12,4	15,2	m/d
Numero de Reynolds (NRE)	76,42	82,63	-
Tiempo de retención en las celdas	8,30	9,09	min
Tiempo de retención total en el tanque	30,2	34,2	min

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales del sedimentador, Por Juan Camilo Loaiza.

Al realizar los cálculos hidráulicos de las condiciones reales de la PTAP Guacavía, se puede observar en la tabla 19 que:

- La carga superficial es de 124,40 estando en el rango mínimo según la norma.
- El número de Reynolds es de 82,63 indicando que está en el rango permitido por la norma.
- El tiempo de retención en las celdas es de 9,09 min por lo tanto no cumpliría con la norma.
- La profundidad del tanque es de 3 m, por lo tanto, no cumple con los parámetros de diseño.
- Las condiciones hidráulicas reales sobrepasan las diseñadas.

9.4.5. Análisis del proceso de Filtración.

El proceso de filtración en la PTAP Guacavía se realiza por medio de cinco filtros rápidos de tasa declinante; con un medio dual. Con el propósito de que el tamaño y el espacio libre de las partículas varié uniformemente, entre grueso y fino.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

Tabla 20.

Condiciones físicas de los filtros.

	Filtración (Condición teórica)	Filtración (Condición real)	Unidades
Filtros (rápido tasa declinante)	5	5	-
Caudal a tratar cada filtro	11	12	l/s
Velocidad (v) vertedero	1	1	m/s
Ancho del vertedero	4"	4"	-
Espesor del lecho filtrante de arena	0,15	0,15	m
Diámetro de la arena	0,001	0,001	m
Porosidad de la arena	40	40	%
Espesor del lecho filtrante de antracita	0,6	0,6	m
Diámetro de la antracita	0,0015	0,0015	m
Porosidad de la antracita	40	40	%
Espesor del lecho filtrante de grava	0,2	0,2	m
Diámetro de la grava	0,019	0,019	m
Tasa de lavado	0,013	0,013	m/s

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales de los filtros, Por Juan Camilo Loaiza. Tabla 21.

Tabla 21.

Condiciones hidráulicas de los filtros.

	Filtración (Condición teórica)	Filtración (Condición real)	Unidades
Profundidad del vertedero (y)	0,148	0,148	m
Área superficial de cada filtro (as)	10	10	m ²
Tasa de filtración de cada filtro (ts)	129,6	132,3	m ³ /(m ² .día)
NRE para la arena	0,748	0,748	-
CD para la arena	35,905	35,905	-
Perdida de energía en el lecho	0,10	0,10	m
NRE para la antracita	1,496	1,496	-
CD para la antracita	1,41	1,41	-
Perdida de energía para la antracita	0,10	0,10	m
NRE para la grava	1,677	1,677	-
Perdida de energía grava	0,0046	0,0046	-
Perdida de carga arena	0,149	0,149	m
Perdida de carga antracita	0,144	0,144	m
Perdida de carga grava	0,0750	0,0750	m
Perdida de carga a través del drenaje	0,534	0,534	m
Perdida de carga total	0,90	1,1	m

Nota: Resultados de las condiciones teóricas y reales de los filtros, Por Juan Camilo Loaiza;2018.

El (RAS, 2017) establece las condiciones y requisitos mínimos de las unidades de filtración, siendo las siguientes:

-Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de 300 m³/(m².día), siempre y cuando la calidad del floc lo permita.

-La pérdida de carga del filtro debe estar entre 0.10 m a 1.0 m.

Al realizar los cálculos hidráulicos de las condiciones reales de la PTAP Guacavía, se puede observar en la tabla 21 que:

-La tasa de filtración de cada filtro es de 132,2 m³/(m².día) estando en rango.

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

- La pérdida total de cada filtro es de 1,1 sobrepasando los límites de la norma.
- El grosor de la capa de arena y antracita están en los parámetros mínimos, posiblemente ocasionando que las concentraciones de turbiedad no sean removidas totalmente.
- Las condiciones hidráulicas diseñadas sobrepasan las reales.

9.5. Analizar y comparar respecto a la resolución 2115/07 los parámetros fisicoquímicos.

Se recolectaron 72 bitácoras de la PTAP Guacavía de enero a diciembre del año 2016 entregadas por parte de la empresa de servicios públicos Edesa S.A E.S. P, algunas de estas planillas les faltaban datos, por lo tanto, se escogen las más completas y dos bitácoras por mes, ya que cada una tiene 24 registros por cada hora el día. Cada planilla lleva registro de los parámetros de alcalinidad, cloro residual, color, pH y turbiedad, junto con sus dosificaciones y el nombre con la firma del operario de turno.

Estos datos se representan gráficamente con el fin de comparar con la resolución 2115 del 2007. determinando en qué cantidad y periodo de tiempo no se está cumpliendo, de acuerdo a esto poder establecer relación con los cálculos hidráulicos y proponer alternativas de mejoramiento para la PTAP.

9.5.1. Análisis de la alcalinidad en el agua, respecto a la resolución 2115/07.

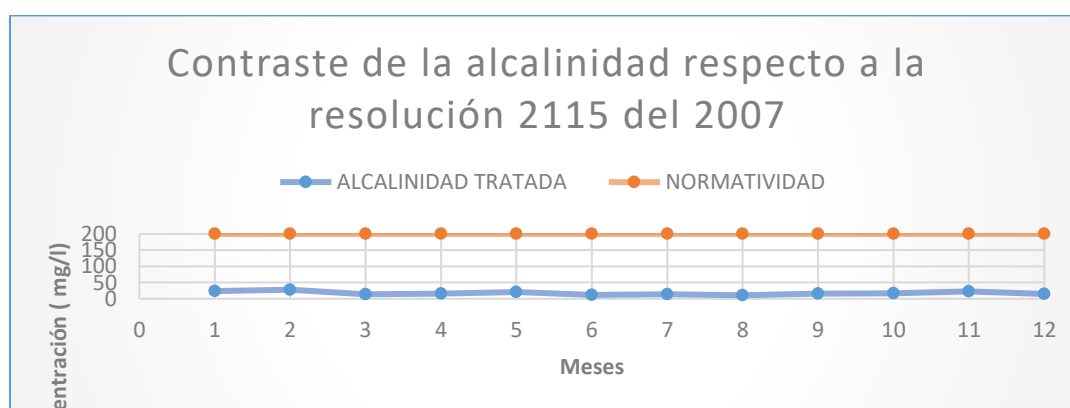


Figura 4. *Parámetro de alcalinidad en la planta de tratamiento de agua potable, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

De acuerdo con la normatividad colombiana, resolución 2115 de 2007. El rango máximo permitido de alcalinidad es de 200 mg/l (miligramo/litro) en la PTAP Guacavía, como se puede observar en la figura 4, la muestra más alta fue de 28 mg/l (miligramo/litro) en el mes de febrero, la cual no sobrepasa el rango establecido, cumpliendo con la norma y así poder dar paso a la siguiente etapa.

9.5.2. Análisis de la turbiedad en el agua cruda, respecto a la resolución 2115/07.

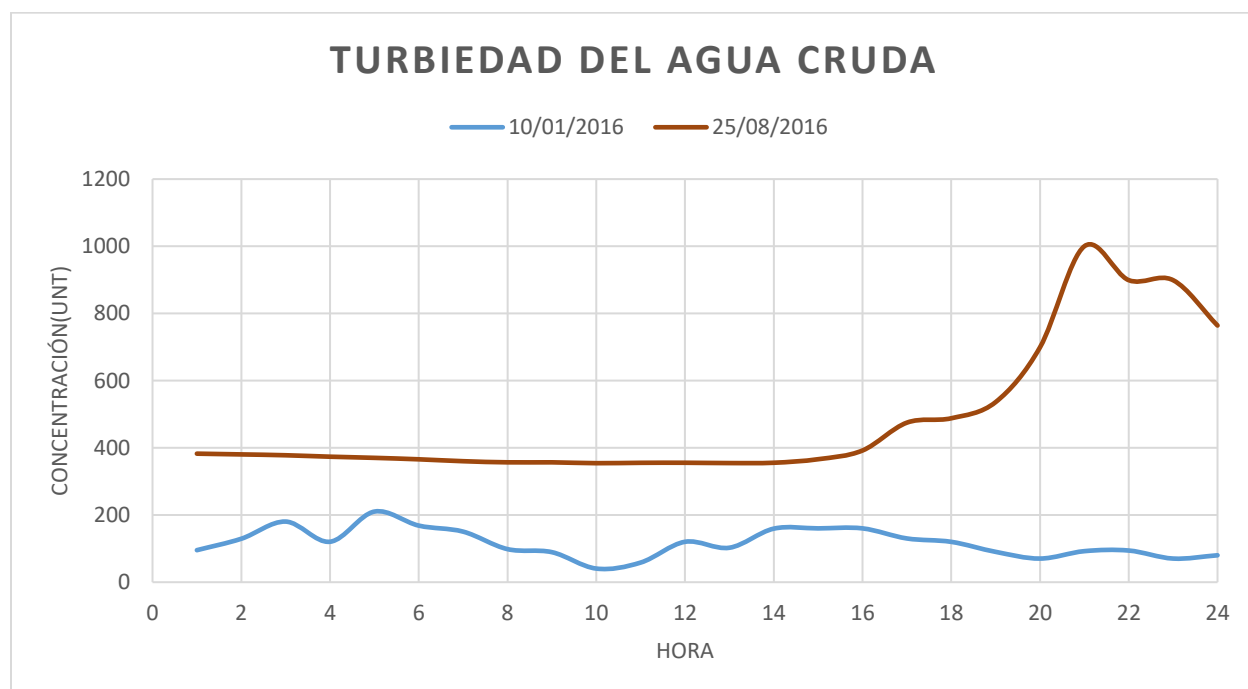


Figura 5. *Parámetro de turbiedad del agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

Para el día ocho del mes de agosto en el año 2016, el pico más alto de turbiedad fue de 1000,1 UNT a las once de la mañana. Analizando las bitácoras, se encuentran varios eventos importantes en los cuales la turbiedad aumentan exponencialmente, de 382,6 UNT a una turbiedad de 1001 UNT y aun así no se hicieron ajustes en la dosificación del floculante, ni alcalinizante. Esto demuestra que se está fallando en el proceso de tratabilidad de ensayos de tratabilidad por medio de ensayos de jarras y la respuesta a esos incrementos no son las adecuadas. Esto influye notablemente en el funcionamiento de las demás unidades operativas de la planta de tratamiento,

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

a continuación, se anexa una de las bitácoras en las que se puede apreciar lo anteriormente mencionado.

FECHA: 25-09-12		Emission: Septiembre 5 de 2011		Versión: 05		Vigencia: Septiembre 5 de 2011		Pág. 1													
Caudal (lt/sg)		Suif. de alum. (ppm)		Dosisificaciones de Químicos		Lavado de filtros		Turbiedad Cruda		Color agua cruda		Turbiedad Tratada		Color agua tratada		P.H. Cruda		P.H. Tratada		Cloro	
Hora		Cal hidr. (ppm)	Cal hidr. (ppm)	Cloro gas (lb/dia)	polim (ppm)	Hora Inicio	Hora Final														
00:00	31	2.8	2.7	6	2					382.2	90	0.92	0	7.0	7.5	1.2					
01:00	35	3.0	2.9	6	2					380.9	90	0.94	0	7.0	7.5	1.2					
02:00	31	3.0	2.9	6	2					371.7	90	0.96	0	7.0	7.5	1.2					
03:00	31	3.6	3.6	6	2					333.6	90	0.97	0	7.0	7.5	1.2					
04:00	51	7.0	3.9	6	2					320.2	90	1.00	0	7.0	7.5	1.2					
05:00	31	3.8	2.8	6	2					363.8	90	1.05	0	7.0	7.5	1.2					
06:00	31	3.2	2.8	6	2	X	X			360.2	90	1.09	0	7.0	7.5	1.2					
07:00	31	3.0	2.8	6	2					355.9	90	0.68	0	7.0	7.5	1.2					
08:00	55	3.0	2.4	6	2					354.8	90	0.90	0	7.0	7.4	1.2					
09:00	55	3.2	2.2	6	2					354.5	90	1.12	0	7.0	7.4	1.2					
10:00	55	3.7	2.2	6	2					355.4	90	1.24	0	7.4	7.4	1.2					
11:00	55	3.7	2.2	6	2					354.6	90	1.25	0	7.4	7.4	1.2					
12:00	55	3.7	2.3	6	2					364.6	90	0.26	0	7.0	7.4	1.2					
13:00	55	4.5	1.8	6	2					555.6	90	1.21	0	7.0	7.4	1.2					
14:00	55	4.5	1.8	6	2					366.19	90	1.36	0	7.0	7.4	1.2					
15:00	55	4.5	1.8	6	2	X	X			362.2	90	1.63	0	7.0	7.4	1.2					
16:00	55	4.5	1.8	6	2					475.0	90	1.66	0	7.0	7.4	1.2					
17:00	55	4.5	1.8	6	2					475.2	90	0.63	0	7.0	7.4	1.2					
18:00	55	4.5	1.8	6	2					526.19	90	0.72	0	7.0	7.4	1.2					
19:00	55	4.5	1.8	6	2					694.3	90	0.77	0	7.0	7.4	1.2					
20:00	55	4.5	1.8	6	2					1000.1	90	0.54	0	7.0	7.4	1.2					
21:00	55	4.5	1.8	6	2					594.1	90	0.91	0	7.0	7.4	1.2					
22:00	55	4.5	1.8	6	2	X	X			594.0	90	0.95	0	7.0	7.4	1.2					
23:00	55	4.5	1.8	6	2					764.2	90	1.16	0	7.0	7.4	1.2					
Producto Químico		Existencias día anterior		Entrada químicos		Consumo químicos		Saldo químicos		Bultos		Kilos		Bultos		Kilos					
Suifato de Aluminio bubo * 50 Kg		Bultos		Bultos		Bultos		Bultos													
Cal hidratada bubo * 10Kg		Kilos		Kilos		Kilos		Kilos													
Cloro gaseoso																					
polímero carboxi de 250 lbs																					
Observaciones:																					
		Primer Turno:		Segundo Turno:		Tercero Turno:															
		Nombre: JORGE BOHOSQUE		Nombre: JORGE BOHOSQUE		Nombre: PABLO SIERRA															
		C.C.: 119823023		C.C.: 119823023		C.C.: 327432															

Figura 6. Planilla de operación de la planta de tratamiento de agua potable Guacavía, donde se consignan todas las muestras tomadas al agua y comportamiento de sus caudales y dosificaciones, Por EDESA S.A;2016.

9.5.3. Análisis de la turbiedad en el agua tratada, respecto a la resolución 2115/07.

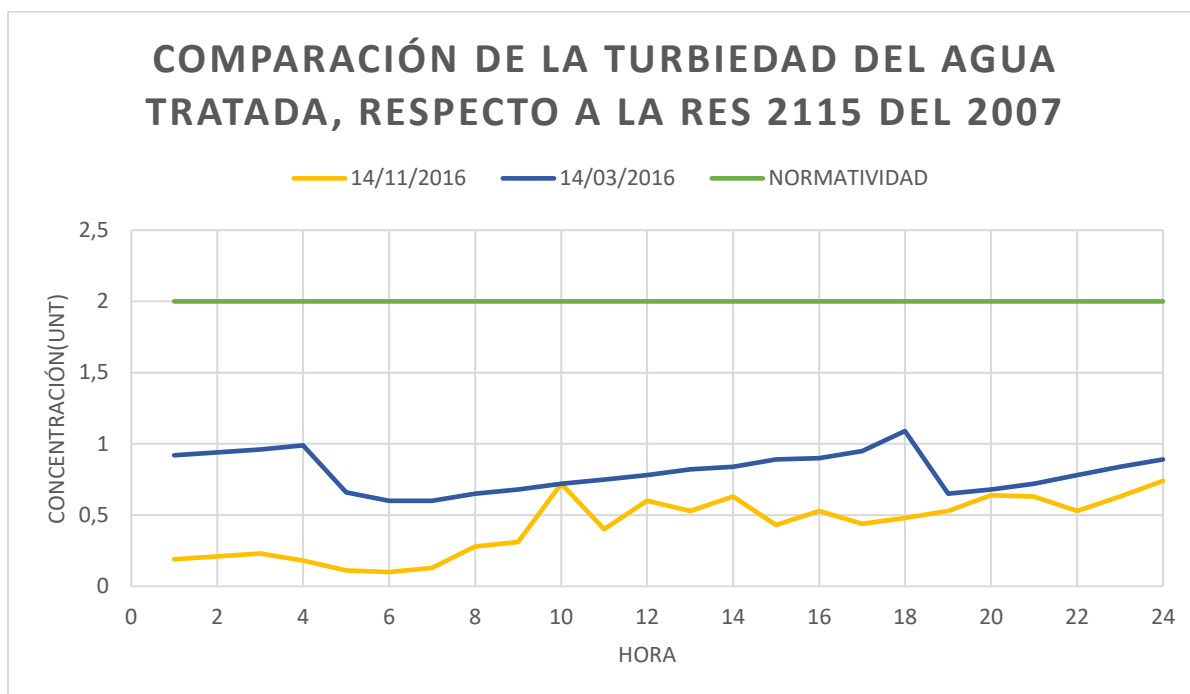


Figura 7. *Parámetro de turbiedad del agua tratada en la planta de tratamiento de agua potable, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018*

De acuerdo con la normatividad colombiana, resolución 2115 de 2007. El rango máximo permitido de turbiedad es de 2 UNT (Unidades Nefelométricas de turbidez), en la PTAP Guacavía como se pudo observar en la figura 7, la muestra más alta de agua luego de ser tratada fue de 1.09 UNT (Unidades Nefelométricas de turbidez), aparentemente cumpliendo con la norma.

9.5.4. Análisis del color del agua cruda y tratada respecto a la resolución 2115/07.

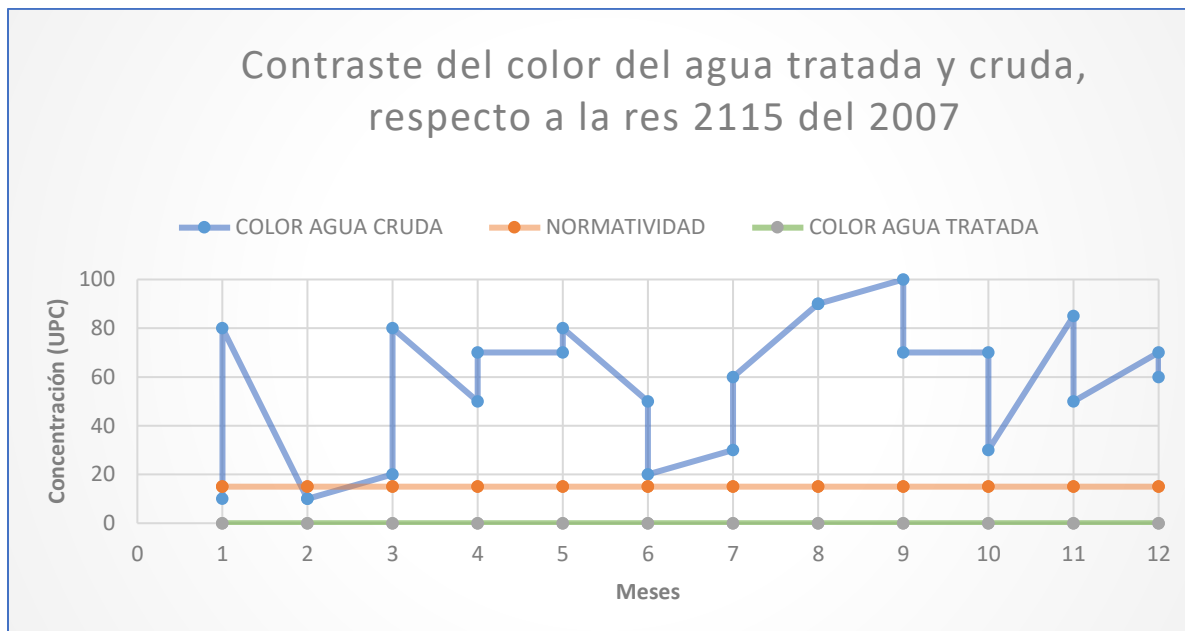


Figura 8. *Parámetro de color en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua potable, por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

De acuerdo a la normatividad colombiana resolución 2115 de 2007 los rangos permitidos de color son 15 UPC (unidades de platino cobalto) en la PTAP Guacavía, como se puede observar en la figura 8, la muestra de agua luego de ser tratada fue de 0 UPC (unidades de platino cobalto), indicando que está cumpliendo con la norma y así poder dar paso a la siguiente etapa.

9.5.5. Análisis del pH en el agua cruda y tratada respecto a la resolución 2115/07.

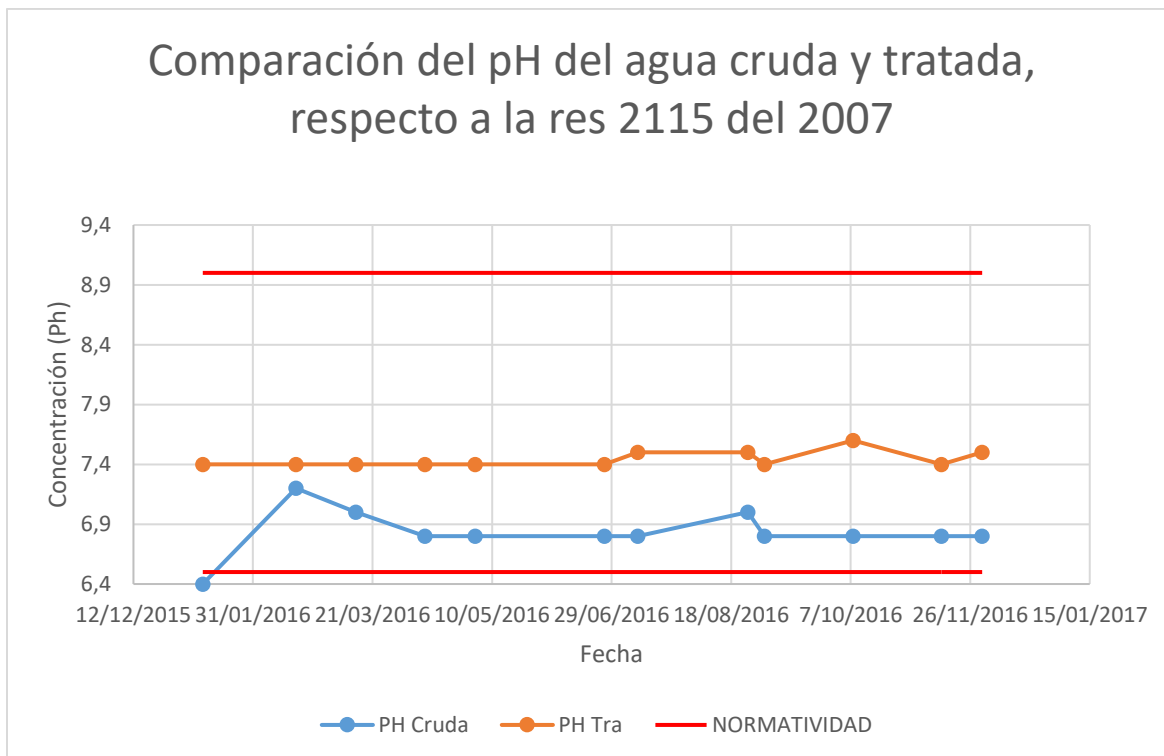


Figura 9. *Parámetro de pH en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua potable, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

Según la normatividad colombiana resolución 2115 de 2007 los rangos permitidos de pH son de 6.5 a 9.0. La PTAP Guacavía, como se puede observar en la figura 9, la muestra más alta de agua luego de ser tratada fue de 7.6, indicando un agua un poco básica, pero aun así está en el rango de la norma.

9.5.6. Análisis del cloro residual en el agua respecto a la resolución 2115/07.

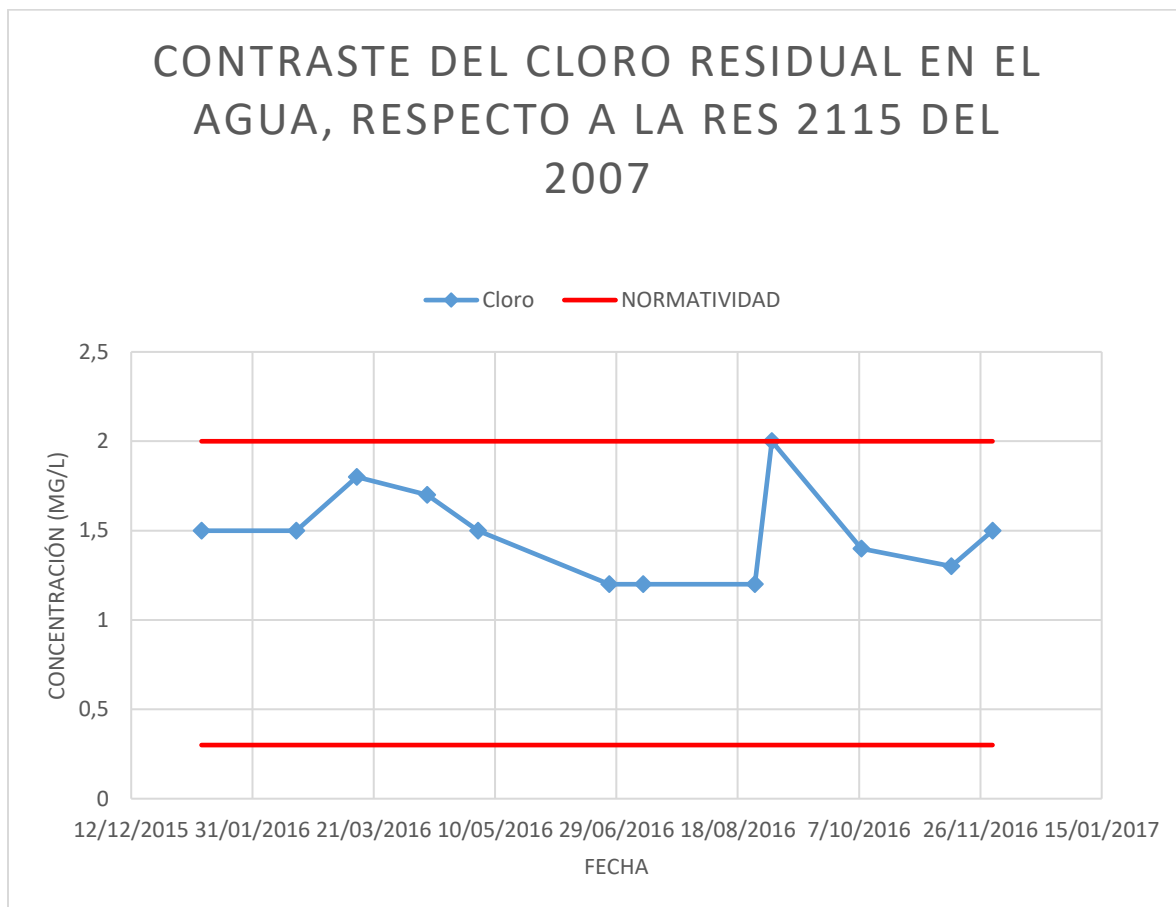


Figura 10. *Parámetro de cloro en la planta de agua potable, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

De acuerdo a la normatividad colombiana resolución 2115 de 2007 el rango permitido de cloro residual oscila entre 0.3 – 2.0 mg/l. La PTAP Guacavía, como se puede observar en la figura 10, el punto más alto de cloración fue el 1 de septiembre del 2016 con una concentración de 2,0 mg/l

9.6. Plantear las alternativas de mejoramiento en la PTAP Guacavía.

9.6.1. Descripción de alternativas de mejoramiento.

De acuerdo con la información obtenida anteriormente del diagnóstico de cada uno de los procesos unitarios en la PTAP, la situación actual de la planta, el análisis de los cálculos hidráulico y los parámetros fisicoquímicos, se pudo determinar el estado actual de la planta potabilizadora e identificar las alternativas de mejoramiento:

- Se debe implementar una canaleta Parshall de $W=6''$ (pulgadas), ya que puede tratar un caudal de 1,42 l/s – 110,44 l/s. La proyección poblacional indica que para el año 2017 se debe tratar un caudal de 55,2 l/s este caudal no se puede exceder porque perjudicaría la eficiencia de los procesos y por otra parte se obtendrían las constantes ideales según las condiciones físicas ya construidas. De esta manera los resultados hidráulicos cumplirían con la norma.

En caso de que no existan los recursos económicos para una nueva canaleta Parshall, se debe modificar la canaleta existente de $W=9''$ (pulgadas) para que esta pueda generar un resalto hidráulico para garantizar los gradientes de velocidad y mejorando la mezcla instantánea del coagulante y, además, se regular las velocidades de los siguientes procesos.

- Se debe modificar el canal de mezcla rápida, agregando paneles laterales y dividiendo secciones, para que el caudal pierda velocidad y el proceso de coagulación sea más efectivo.
- El laboratorio de la planta debe contar con los equipos y herramientas necesarias para que los operarios puedan llevar un historial confiable en las bitácoras, se debe contar con un turbidímetro, además de esto llevar un seguimiento más riguroso al proceso de prueba de jarras, ya que las bitácoras indican que, a pesar de que cambien las condiciones del caudal y sus características de turbiedad se está dosificando en la misma cantidad.
- El diámetro de la arena, grava y antracita debe ser el máximo permitido por la norma, de esta manera elevar la eficiencia del proceso de filtración, ya que un diámetro mínimo podría ocasionar saturación en épocas de invierno por la elevada turbiedad en el agua o se puede

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

agregar una capa de carbón activado, la cual eliminaría el olor, sabor y color del agua, de esta manera reduciendo esfuerzos en los filtros en épocas de invierno. Una capa de carbón activado en el lecho filtrante representaría bajos costos económicos, aumentando su eficiencia en la filtración.

- Por último, se considera necesario a la hora de realizar la captación en el tanque desarenador que se debe reducir el caudal mediante un sistema de desagüe, con el fin de que las arenas no colapsen el sistema, como se indica en la figura 11.

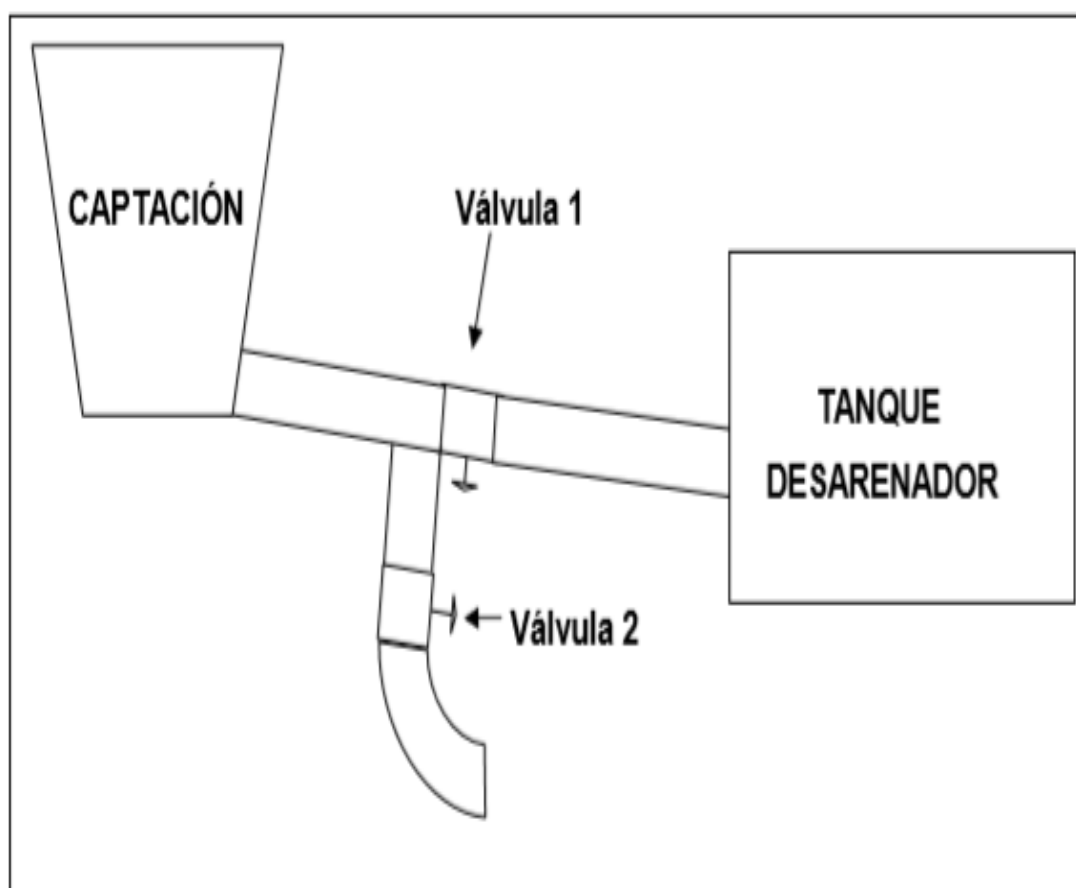


Figura 11. *Alternativa de mejoramiento en el tanque desarenador, Por Juan Camilo Loaiza Soto;2018.*

10. Conclusiones

- La demanda del caudal actualmente es de 55,2 l/s
- Los análisis de los parámetros fisicoquímicos aparentemente cumplen con la resolución 2115 del 2007, pero no concuerdan con los resultados hidráulicos.
- Los operarios no son idóneos para manejar la planta
- Las condiciones hidráulicas no coinciden con las requeridas en el diseño.
- La planta no cuenta con todos los equipos de análisis necesarios.

11. Recomendaciones

- Realizar los cálculos de la proyección poblacional y mantener su demanda de caudal homogénea.
- Los test de jarras se deben hacer semanalmente.
- Se debe llevar un historial de mantenimiento y calibración de equipos.
- Los operarios de la planta deben recibir capacitaciones.
- Se requiere hacer muestras de agua en cada proceso unitario.
- Para el próximo diagnóstico se debe tener en cuenta la tubería de transporte hasta la comunidad.

12. Referencia bibliográfica

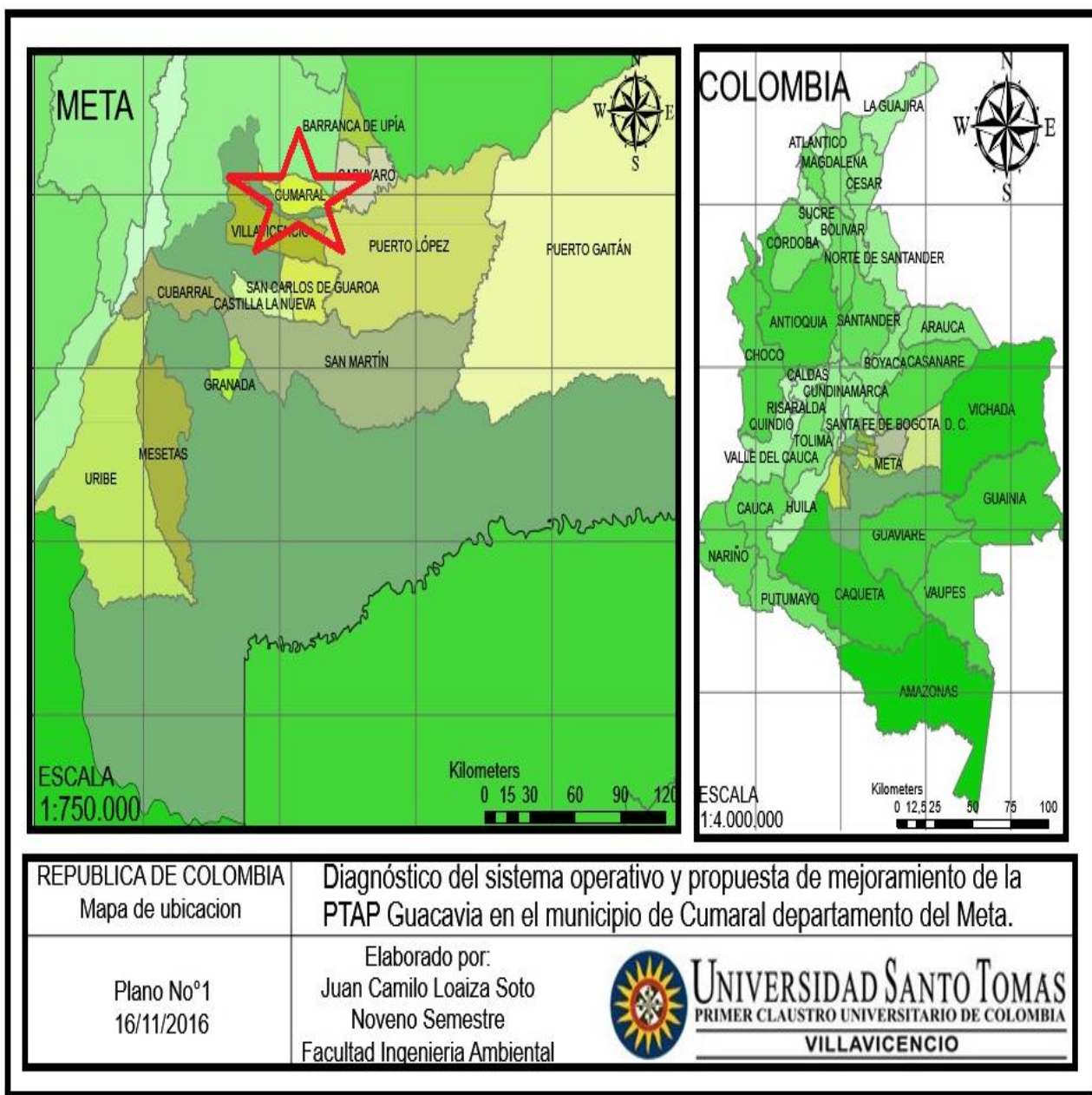
- Bolivar, J. H. (12 de Julio de 2005). *Diagnostico y optimización de la PTAP*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/354466498/Diagnostico-Plana-de-Tratamiento-Consulta>
- Castro Garzón, H., Rubio Cruz, M. A., & Miranda, J. P. (13 de Abril de 2012). *Análisis de las coberturas de acueducto en el departamento del Meta*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89640734010>
- Cualla, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*.
- Dane. (11 de Enero de 2000). *Estadísticas poblacionales nacionales*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- EDESA S.A E.S.P. (12 de Abril de 2016). *Implementación del plan de gestión social del plan de agua para la prosperidad y plan departamental del agua*. Obtenido de <http://www.edesaesp.com.co/>
- Fässler, U., & Elizabeth, J. (27 de Febrero de 2014). *Optimización de la PTAP en la ciudad de Chambo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3203>
- Forero, A., & Karina, D. (03 de Junio de 2016). *Propuesta para el mejoramiento de la PTAP*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1152>
- Gutierrez, A. C., & Jaimes, E. J. (13 de Abril de 2005). *Evaluación, diagnostico y optimización de los procesos en la PTAP*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/249174449/EVALUACION-DIAGNOSTICO-Y-OPTIMIZACION-DE-LOS-PROCESOS-DE-LA-PLANTA-DE-TRATAMIENTO-DE-AGUA-POTABLE-DE-FLORIDABLANCA>
- Ministerio de la protección social. (09 de Julio de 2007). *Sistema de protección y calidad del agua*. Obtenido de http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua/index.php/es/home-es-es/10-contenido/11-legislacion-sobre-la-calidad-del-agua-decreto-1575-de-2007-y-la-resolucion-2115-de-2007
- Mosquete, J. S. (02 de Julio de 2011). *La importancia del agua y su ciclo de vida*. Obtenido de <http://www.mosingenieros.com/2011/02/el-ciclo-global-del-agua.html>

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

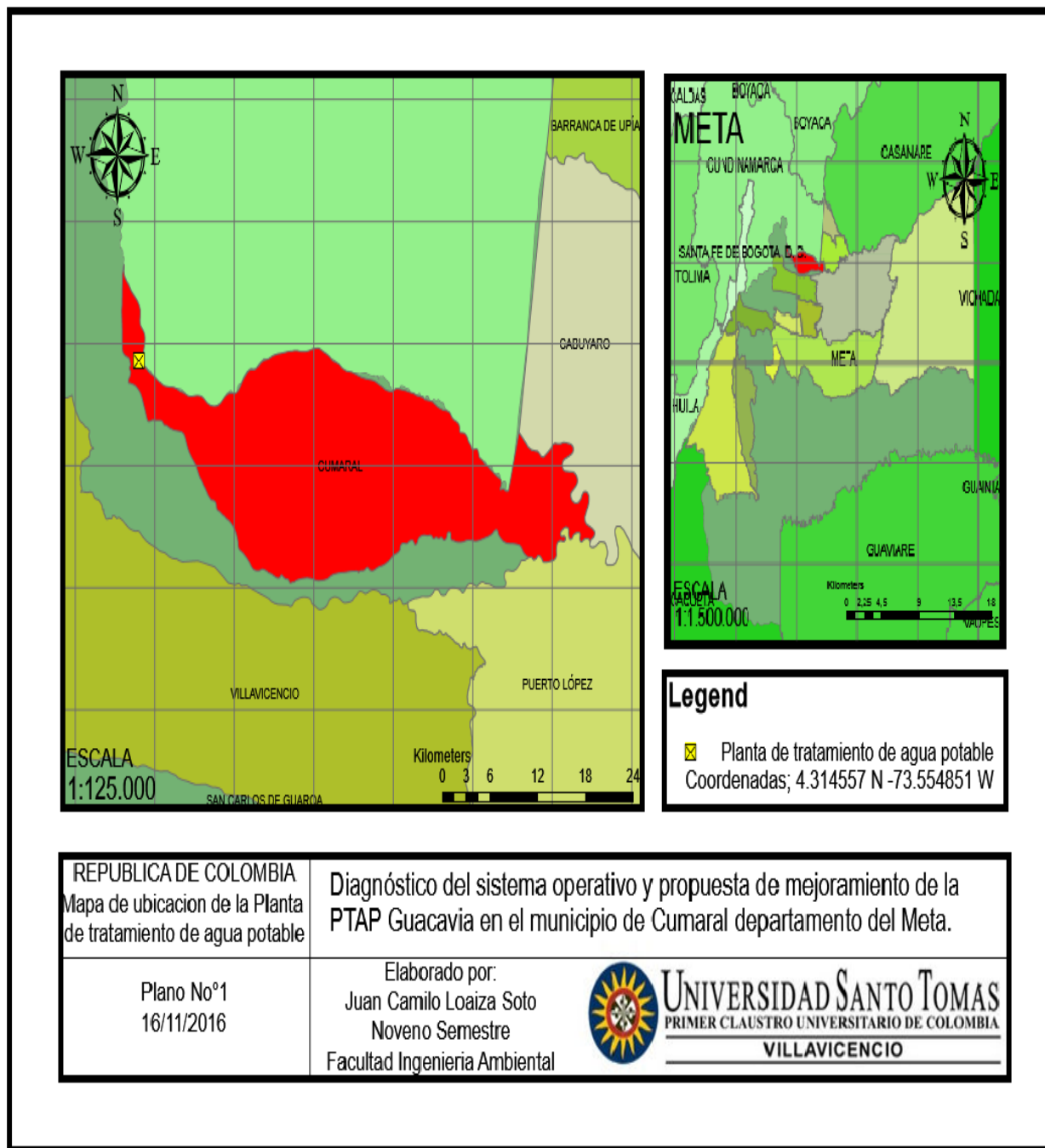
- Ops/Oms. (12 de Junio de 2008). *Informe regional sobre el agua potable en america latina*.
Obtenido de <https://serviciospublicos.wordpress.com/2008/06/12/informe-regional-sobre-la-evaluacion-2000-en-la-region-de-las-americas-agua-potable-y-saneamiento-estado-actual-y-perspectivas/>
- Organización Mundial de la Salud. (22 de Marzo de 2005). *Guia para la calidad del agua potable*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/ventapub/ta.html>
- Parada, N. (16 de Febrero de 2016). *Conflicto ambiental acueducto de cumaral Meta*. Obtenido de <https://prezi.com/xtmuq4yz8yqw/conflicto-ambiental-aeducto-de-cumaral-meta/>
- República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico RAS. (08 de Junio de 2017). *Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento basico*. Obtenido de <http://www.disanejercito.mil.co/m/?idcategoria=25478&download=Y>
- Romero, H. C., & Anillo, J. L. (14 de Febrero de 2016). *Diagnostico para evaluar una PTAP*. Obtenido de <http://190.242.62.234:8080/jspui/handle/11227/2697>
- Velez, J. C. (9 de Agosto de 2012). *Importancia de la ingenieria en la actualidad*. Obtenido de <http://johacv1218.blogspot.com.co/2012/08/importancia-de-la-ingenieria-en-la.html>

13. Anexos

Anexo 1. Ubicación del municipio de Cumaral.



Anexo 2. Ubicación del municipio de Cumaral y la PTAP Guacavía.



REPUBLICA DE COLOMBIA
Mapa de ubicación de la Planta
de tratamiento de agua potable

Diagnóstico del sistema operativo y propuesta de mejoramiento de la
PTAP Guacavía en el municipio de Cumaral departamento del Meta.

Plano No°1
16/11/2016

Elaborado por:
Juan Camilo Loaiza Soto
Noveno Semestre
Facultad Ingeniería Ambiental



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
VILLAVICENCIO

Anexo 3. Descripción de los procesos unitarios de la PTAP.

REGISTRO FOTOGRAFICO			
			
<p>DESCRIPCIÓN: Bocatoma, estructura construida en concreto con rejillas de gruesos y finos en varilla, válvulas de compuerta para mantenimiento.</p>		<p>DESCRIPCIÓN: Sistema de aducción combinado cerrado. En tubería un tramo y canal abierto otro tramo.</p>	
			

Diagnóstico de la PTAP Guacavía

DESCRIPCIÓN: Desarenador en concreto con rejillas para sólidos y válvulas de mantenimiento	DESCRIPCIÓN: Almacenamiento de insumos químicos
	 
DESCRIPCIÓN: Bombas dosificadoras en seco (Sin panel de control)	DESCRIPCIÓN: Instrumentos de medición in-situ



DESCRIPCIÓN: Canaleta Parshall y cámara de floculación

DESCRIPCIÓN: Tanque de sedimentación con paneles tipo colmena



DESCRIPCIÓN: Filtros descendentes y Tanque de cloración manual

DESCRIPCIÓN: Sistema de cloro gaseoso y Lecho de lodos

Realizado por:

Juan Camilo
Loaiza

Cubillos Arévalo Diana
carolina

Estudiante

Ingeniera Ambiental

Anexo 4. Fórmulas hidráulicas aplicadas, según el libro “Elementos de diseños para acueductos y alcantarillados”.

- Determinación de la lamina de agua:

$$h_a = \left(\frac{Q}{k}\right)^{1/n}$$

- Cálculo de la canaleta en la sección media:

$$W_a = \frac{2}{3}(D - w) + w$$

- Cálculo de la sección en la sección media:

$$V_a = \frac{q}{w_a * h_a}$$

- Cálculo de la energía total disponible:

$$E_1 = \frac{v_a^2}{2g} + h_a + n$$

- Cálculo de la velocidad antes de resalto:

$$E_2 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2$$

$$V_2 = \frac{q}{w h_2}$$

- Determinación de la lamina de agua en el resalto:

$$H_b = h_2 - n$$

- Chequeo de grado de sumergencia s.
Para verificar condiciones de aforador:

$$S = \frac{h_b}{h_a}$$

- Cálculo de número de Froude:

$$F_2 = \sqrt{\frac{v^2}{h_2 g}}$$

- Cálculo de la lamina de agua al final del trecho divergente:

$$H_3 = \frac{h_2}{2} (\sqrt{1 + 8f_2^2} - 1)$$

- Cálculo de la lamina de agua al final de la canaleta:

$$H_4 = h_3 - (n - k)$$

- Cálculo de tiempo de medio de mezcla:

$$T_d = \frac{g'}{v_m}$$

$$V_m = \frac{v_3 + v_4}{2}$$

$$V_3 = \frac{q}{w * h_3}$$

$$V_4 = \frac{q}{c * h_4}$$

- Cálculo del gradiente de velocidad (g):

$$\Delta h = \frac{v_a^2}{2g} + h_a + n - \frac{v_4^2}{2g} - h_4 - (n - k)$$

$$G = \sqrt{\frac{r * \delta h}{\mu * t_d}}$$

Anexo 5.Descripción en cantidad de equipos, personal operativo y administrativo.

PERSONAL OPERATIVO Y ADMINISTRATIVO		EQUIPOS	
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Coordinador	1	Bocatoma
3	Operador	1000 mts	Aducción
1	Facturador	1	Desarenador
2	Fontanero	0	Tanque de almacenamiento de agua cruda
1	Lectores de contador	0	Tanque preparación de químicos
1	Secretaria	1	Tanque dosificación Neutralizante
		1	Tanque dosificación Coagulante
		1	Tanque dosificación Desinfectante
		1	Bomba dosificadora neutralizante
		1	Bomba dosificadora coagulante
		1	Bomba dosificadora
		0	Bomba electro sumergible
		1	Floculador
		2	Sedimentador-Clarificador
		2	Filtros
		1	Tanque de almacenamiento de agua tratada
		0	Flotas de nivel
		4	Caja eléctrica
		0	Válvula de Bola
		6	Válvula de Compuerta
		0	Macro medidor
		0	Escalera
		8	“Pasarela
		2	Válvulas de distribución
OBSERVACIONES			

Anexo 6. Canaleta Parshall y mezcla rápida PTAP Guacavía.