

Actualización Del Manual De Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De
Agua Potable Del Municipio De Hato Corozal - Casanare

Autor

Luis Ariel Roa Serpa



Universidad De Pamplona

Facultad De Ingenierías Y Arquitectura

Departamento Ambiental, Química Y Civil - Ingeniería Civil

Pamplona

2023

Actualización Del Manual De Operación Y Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De
Agua Potable Del Municipio De Hato Corozal - Casanare

Autor

Luis Ariel Roa Serpa

Trabajo De Grado Para Optar Por El Título De Ingeniero Civil

Director De Tesis

Luis Fernel Viracachá

Ingeniero Civil Y Magister En Ingeniería Ambiental



Universidad De Pamplona

Facultad De Ingenierías Y Arquitectura

Departamento Ambiental, Química Y Civil - Ingeniería Civil

Pamplona

2023

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Grado
en cumplimiento de los requisitos
exigidos por la Universidad de
Pamplona para optar al título de
Ingeniero Civil.

Diego Ivan Sanchez Tapiero

Jurado

Carlos Alexis Bonilla Granados

Jurado

Pamplona – N. Santander / 28 de Abril de 2023

Dedicatoria

El presente documento se lo dedico primeramente a Dios, a mis padres que sin su apoyo y consejos no hubiera podido lograr esto, fueron un pilar y ejemplo a seguir, a mis familiares y amigos que siempre creyeron en mi sin importar las situaciones.

Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecerle a Dios, por permitirme tener la posibilidad de sacar mis estudios adelante, de superar todas las adversidades que se me presentaron. A mi familia que, sin su apoyo incondicional y su gran esfuerzo, no habría podido lograr esto, al Ingeniero Luis Fernel Viracachá, director del proyecto, por sus orientaciones y consejos oportunos, los cuales fueron fundamentales para la realización del proyecto y por su apoyo y acompañamiento a lo largo de la carrera profesional.

A la gerente de la Empresas Públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo S.A. E.S.P., Egdy Fabiola Antolines Reyes por permitir el desarrollo de este proyecto en favor de la comunidad Hatocorozaleña; a todo el personal administrativo, profesional y operativo, por su acompañamiento y por compartir sus conocimientos en pro de este proyecto. A mis docentes y amigos que me permitieron descubrir que trabajando juntos se logran grandes cosas.

Tabla De Contenido

1. Resumen.....	12
3. Introducción	14
4. Objetivos.....	16
4.1 Objetivo General.....	16
4.2 Objetivos Específicos.....	16
5. Alcances Y Limitaciones	17
5.1 Alcances.....	17
5.2 Limitaciones.....	18
6. Planteamiento Del Problema.....	19
7. Justificación	20
8. Marco Referencial.....	21
8.1 Marco Teórico.....	21
8.2 Marco Conceptual	32
8.3 Marco Legal	35
8.4 Estado Del Arte.....	37
9. Materiales Y Métodos.....	42
9.1 Materiales.....	42
9.2 Metodología	42
10. Información General	45

10.1 Características Físicas	45
10.2 Estructura Poblacional	49
10.3 Análisis Poblacional.....	50
10.4 Determinación De Las Necesidades De Agua Potable	56
10.5 Descripción De La Infraestructura De La PTAP.	69
10.6 Descripción General Del Sistema	70
11. Diagnóstico De La Planta De Tratamiento	79
11.1 Análisis De La Estructura De La PTAP.....	84
11.2 Análisis De Los Procesos Presentes En La PTAP.	86
11.3 Determinación De La Eficiencia General De Las Infraestructuras Presentes Y Procedimientos.	90
11.4 Determinación De La Eficiencia De Los Procedimientos.	93
11.5 Diagnostico General De Funcionamiento De La PTAP	94
12. Socialización	99
13. Cronograma.....	101
14. Recomendaciones	103
15. Conclusiones	105
16. Bibliografía	107
17. Lista De Anexos.....	109

Lista De Tablas

Tabla 1. Características físicas.....	29
Tabla 2. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.	29
Tabla 3. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.	30
Tabla 4. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.	31
Tabla 5. Normatividad Aplicable.....	35
Tabla 6. Estado del arte de antiguos proyectos.....	37
Tabla 7. Estructura Poblacional	49
Tabla 8. Análisis Poblacional	50
Tabla 11. Análisis Poblacional (Urbano).....	52
Tabla 12. Proyección método geométrico	53
Tabla 13. Proyección método logarítmico	54
Tabla 14. Proyección Poblacional Final	55
Tabla 15. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	56
Tabla 16. Antecedentes caudales de salida microcuenca.....	62
Tabla 17. Caudales periodo seco	64
Tabla 18. Caudales periodo húmedo.....	65
Tabla 19. Título II. RAS 2017	68
Tabla 20. Título II, Cap. 3 RAS 2017	68
Tabla 21. Variables	79
Tabla 22. Valores para la evaluación del diagnóstico.....	81

Tabla 23. Análisis de Turbiedad Mensual	88
Tabla 24. Eficiencia general de las variables.....	90
Tabla 25. Cronograma de Actividades.....	101

Lista De Ilustraciones

Ilustración 1. Organigrama EPHAC S.A E.S.P.	23
Ilustración 2. Proceso de Floculación - Sedimentación	26
Ilustración 3. Ubicación geográfica Hato Corozal	46
Ilustración 4. Temperatura máxima y mínima promedio en Municipio Hato Corozal.....	47
Ilustración 5. Probabilidad diaria de precipitación en Municipio Hato Corozal	48
Ilustración 6. Promedio mensual de lluvia en Municipio Hato Corozal.....	49
Ilustración 7. Grafica crecimiento de la población urbana	51
Ilustración 8. Grafica Proyección Poblacional.....	55
Ilustración 9. Estuche y correntómetro	59
Ilustración 10. Correntómetro digital Global	59
Ilustración 11. Aforo Quebrada Las Guamas	60
Ilustración 12. Grafica sección de la Quebrada	61
Ilustración 13. Aforo 100 metros aguas arriba de la captación.....	61
Ilustración 14. Antecedentes históricos de caudales Quebrada Las Guamas	63
Ilustración 15. Variabilidad de caudales periodo seco.....	65
Ilustración 16. Variabilidad caudales periodos húmedos	66
Ilustración 17. Ubicación Espacial Quebrada las Guamas	69
Ilustración 18. Bocatoma HTZ	71
Ilustración 19. Desarenador HTZ	72
Ilustración 20. PTAP Hato Corozal	73
Ilustración 21. Canaleta Parshall.....	74
Ilustración 22. Cámaras de Floculación.....	75

Ilustración 23. Paneles de Sedimentación.....	76
Ilustración 24. Módulos de Filtración	77
Ilustración 25. Proceso de Cloración	78
Ilustración 26. Tanque de Almacenamiento	78
Ilustración 27. Variable Valor de eficiencia General.....	82
Ilustración 28. Variable Porcentaje de infraestructura en óptimas condiciones	83
Ilustración 29. Variable Eficiencia de Procesos	84
Ilustración 30. Gráfica de turbiedad mensual	88
Ilustración 31. Gráfica porcentaje de remoción mensual.....	89
Ilustración 32. IRCA mensual municipio Hato Corozal.....	90
Ilustración 33. Valor de eficiencia general	92
Ilustración 34. Valor infraestructura en óptimas condiciones	92
Ilustración 35. Valor eficiencia de los procesos	93
Ilustración 36. Socialización del Manual Actualizado	99
Ilustración 37. Socialización del Manual Actualizado	100

1. Resumen

En el presente trabajo se realizó un reconocimiento, descripción, análisis y diagnóstico de estructuras y procesos que se llevan a cabo en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal – Casanare. Buscando la actualización del manual de operación y mantenimiento de la PTAP para el acueducto comunitario que en los últimos años se ha deteriorado tanto en su infraestructura y como por ende en sus procesos. Además de presentar fayas administrativas que dificultan el cambio de activos por vida útil afectada. Surgió la necesidad de ahondar los conocimientos adquiridos a poblaciones con necesidad en tiempo real, de asuntos tan indispensables como lo es la potabilización del agua para consumo humano. El presente trabajo se basa en cuatro objetivos específicos, que llevaron al desarrollo ordenado, para finalmente proveer un documento, que ayude al mejoramiento de la operatividad y mantenimientos de la planta de tratamiento.

En primera instancia, se realizó un estudio de las especificaciones técnicas operativas y mantenimiento, y el reconocimiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio, que permitió establecer un panorama del estado de las infraestructuras y de los procesos que se llevan a cabo en las mismas, para de esta manera cumplir el primer objetivo; para la realización del mismo se obtuvo el acompañamiento del personal de la empresa EPHAC S.A E.S.P y cualquier acto formal que evidencie el trabajo realizado. Siguiendo el lineamiento de los objetivos se realizó un diagnóstico y un análisis general de la infraestructura y de cada uno de los procesos que se lleven a cabo en la planta de potabilización de acueducto del municipio; permitiendo determinar las ineficiencias y daños, generando así un campo de alternativas de solución que permita retomar en la Planta su óptimo funcionamiento. Por otro lado, y como base fundamental de este trabajo, el objetivo

número tres, una vez que se obtuvo la información pertinente con respecto a la reglamentación para el tratamiento de agua, el reconocimiento de la infraestructura de la PTAP y el diagnóstico desarrollado con su respectivo análisis, se elaboró la actualización del manual de operación y mantenimiento de la PTAP del municipio de Hato Corozal, donde una vez aprobado por la EPHAC S.A E.S.P. se dio cumplimiento al último objetivo del presente trabajo, donde mediante una socialización en acompañamiento de la Jefe de área y la Gerente de la empresa, se capacitó al personal operativo de la PTAP, el manual de operación y mantenimiento actualizado.

El trabajo ha sugerido varios procedimientos que desde su inicio asegura la responsabilidad con la entidad prestadora del servicio público de agua (EMPRESAS PÚBLICAS DE HATO COROZAL, ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO, GAS Y ASEO), quienes recibieron la propuesta y decidieron acoger el proyecto y colaborar de forma grata con información, visitas al lugar de análisis y reuniones, que permitieron el desarrollo del mismo.

3. Introducción

El mundo está en un constante cambio, lleno de necesidades las cuales deben ser satisfechas de alguna manera, es por ello que es importante enfocarnos en un problema posible de solucionar encaminado en el campo de la ingeniería civil. Estudios reportan que Colombia es un país rico en recursos hídricos, puesto que se encuentra ubicado geográficamente en la línea del Ecuador, por lo cual cuenta con diversos climas gracias a las diferentes altitudes. Sin embargo, el Ministerio de Medio Ambiente calcula que la mitad de los recursos hídricos tienen problemas de calidad. Se estima que la industria, el sector agropecuario y las aguas domésticas generan 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante de los acuíferos.

En la actualidad existen varios impactos que pueden llegar a afectar de manera directa la salud humana, derivado de las malas prácticas, de la mala captación y disposición final del agua, esto es una de las problemáticas más comunes dentro de nuestro territorio colombiano. Uno de los objetivos de Colombia establecido en la Constitución Política es satisfacer las necesidades básicas, una de ellas es el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana. El abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano, es necesario para evitar casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea. A pesar de los esfuerzos realizados aún persiste un déficit del acceso a agua potable y saneamiento básico.

También se están realizando esfuerzos en la parte regional y local para la construcción de infraestructuras que sean necesarias para mitigar y mejorar las condiciones hídricas; en cuanto a los municipios, no cuentan con las suficientes herramientas en el desarrollo de programas o proyectos sobre el manejo del agua. Por medio de este documento, damos a

conocer la actualización del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable; como proyecto se plantea mejorar los procedimientos y ejecución de actividades que surgen de la operación de la PTAP, buscando que se garantice su calidad en las características biológicas, físicas y químicas presentes en el agua, teniendo como finalidad la reducción o eliminación de elementos no deseados presentes en la misma agua.

Es indispensable definir algunos aspectos los cuales deberán estar acorde con los recursos disponibles en la PTAP del municipio de Hato Corozal, asimismo se debe tener en cuenta a los responsables en la operación, el mantenimiento y los procedimientos que indiquen la forma como se realizan; de igual modo se debe tener presentes los métodos, materiales y equipos de seguridad y protección personal, con la finalidad de que los operarios y responsables de las plantas logren cumplir con sus funciones y contribuir en el objetivo principal que es abastecer a la población de agua potable apta para el consumo.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Elaborar la actualización del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal – Casanare para mejorar los procedimientos y la calidad del servicio mediante un estudio analítico de los procesos y flujo de información en el área operativa.

4.2 Objetivos Específicos

- Examinar las especificaciones técnicas operativas y mantenimiento a través del estudio de la normatividad del sector de agua potable y saneamiento básico para la buena operación de las plantas de tratamiento.
- Desarrollar un diagnóstico a través de visitas de campo, ensayos de laboratorio, tomas de muestras, informes de mantenimiento y operación, e información del personal operativo de la PTAP para establecer la condición actual de la planta.
- Realizar la actualización del manual de operación y mantenimiento de la PTAP en base al diagnóstico y análisis desarrollado para ejecutar de manera adecuada los procedimientos para un correcto funcionamiento.
- Socializar el manual de operación y mantenimiento actualizado de la PTAP mediante capacitaciones a los operadores y profesionales asociados al Área operativa de la empresa.

5. Alcances Y Limitaciones

El resultado que se desea obtener con la elaboración de este proyecto, es contribuir con el propósito que tuvo la alcaldía de Hato Corozal - Casanare en el año 2009, el cual consistía en crear una PTAP, la cual pudiera suministrar agua consumible al municipio, para ello se espera obtener los siguientes logros:

5.1 Alcances

- El proyecto de grado se desarrolló durante el primer semestre del año 2022, haciendo uso de las instalaciones del laboratorio y estructuras presentes de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal – Casanare a cargo de las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.”.
- Se entregaron los resultados obtenidos de la caracterización del agua problema de la planta de tratamiento de agua potable del municipio.
- Se realizaron los análisis y comparaciones correspondientes del agua que se suministra al municipio con las normas establecidas para proporcionar agua potable apta para el ser humano.
- Se evaluó si las estructuras hidráulicas de la planta de tratamiento de agua potable, cumplen con las funciones y procesos de potabilización.
- Generar desarrollo socio-económico en el municipio, evitando epidemias o enfermedades ocasionadas por el consumo de aguas no tratadas totalmente.

5.2 Limitaciones

- Disponibilidad del laboratorista y operarios del sistema de potabilización encargados para realizar asesoría y acompañamiento en el análisis de muestras.
- Disponibilidad del laboratorio y elementos para realizar los estudios correspondientes.
- El tiempo necesario para realizar el diagnóstico, y dar solución a la optimización de la PTAP es de cuatro (4) meses, el cual corresponde al tiempo de un periodo académico y en el que se debe llevar a cabo el desarrollo total del proyecto descrito en el presente.

6. Planteamiento Del Problema

El sistema de acueducto y alcantarillado urbano del municipio de Hato Corozal – Casanare ha estado a cargo de las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” desde el momento de su construcción y funcionamiento hasta el día de hoy, donde su operación y mantenimiento han sido ejecutados por el personal que ha trabajado en su progreso y transformación; no obstante una de las mayores dificultades encontradas son las malas prácticas operacionales que en muchos casos obedece a falta de acompañamiento permanente a los operadores y que no cuenta con un documento que reúna la información de las características de la planta de tratamiento de agua potable, por lo que se convierte en una práctica rutinaria sin actualización de conceptos técnicos y acordes a la norma, por lo tanto se pueden ejecutar procedimientos incorrectos debido al desconocimiento de los pasos adecuados para su operación que pueden llegar a afectar de manera directa la salud humana.

7. Justificación

La importancia de solucionar esta problemática se evidencia porque la planta de tratamiento de agua potable del municipio Hato Corozal, abastece aproximadamente a 1900 viviendas, donde la propuesta de mejora, fortalecerá los aspectos operativos y de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable en vista de que será una herramienta para conocer mejor los componentes del sistema, y se ejecute como se recomienda que sea su operación y mantenimiento además de otros puntos que deben implementarse para la prestación de un servicio seguro y de calidad, que influirá positivamente tanto en la comunidad como en la empresa que presta el servicio puesto que será una base para la toma de decisiones, y evidentemente poder capacitar de una mejor manera al personal operativo.

8. Marco Referencial

8.1 Marco Teórico

“El agua es la base de la vida y forma la mayor parte del organismo del ser humano. Por lo general, las personas necesitamos beber una media de 1,5 litros de agua potable al día para poder desarrollar nuestra vida de una manera normal. Controlar la calidad del agua que consumimos y realizar un análisis detallado de sus parámetros es muy importante: una simple variación en el contenido de las sustancias alterará la calidad de ésta pudiendo llegar a convertirla en inservible o, incluso, suponer riesgos para la salud.”¹

La vida humana, así como la de cualquier planta o animal depende del agua. No solamente se requiere del agua para que las plantas crezcan, generar energía e impulsar la industria, también es necesaria como parte de la vida cotidiana en la cocción de alimentos, la higiene básica e incluso en la ingesta para el funcionamiento del cuerpo humano. Las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” es una empresa pública de Hato Corozal (Casanare), que se encarga del acueducto, alcantarillado y aseo del municipio. Se encuentra ubicada en la carrera 9 No. 12 – 09 frente al parque central del municipio. “Es una empresa que contribuye a mejorar la vida de los corozaleños, satisfaciendo las necesidades de sus clientes con la prestación de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo con continuidad y calidad, generando rendimientos económicos para sus accionistas y contribuyendo al desarrollo socioeconómico de Hato Corozal. Esta entidad está conformada por diferentes secciones las cuales tienen cada

¹ Alcora, M. (2020, 16 junio). Agua apta para consumo humano: características principales. Alcora. <https://alcora.es/blog/agua-apta-consumo-humano>

una un rol específico en la operatividad del servicio, a continuación, se podrá visualizar el organigrama de la entidad”²

“La Dirección y Administración de la Empresa, estará a cargo de la Asamblea General de Accionistas, Junta Directiva y del Gerente. La dirección de la sociedad corresponde, primero a la Asamblea General de Accionistas, y, en segundo lugar, a la Junta directiva como delegada de aquella. La representación legal de la sociedad y gestión de los negocios sociales estarán a cargo del Gerente.

Organigrama EPHAC S.A E.S.P.

El organigrama de la EPHAC S.A E.S.P. está soportado en el ACUERDO No. 013 de junio 17 de 2009. Por el cual se determina la estructura orgánica, las funciones requisitos mínimos de los diferentes cargos las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.”³

² Nuestra entidad. (2018, 28 septiembre). Empresas Publicas De Hato Corozal. <http://www.ephac.gov.co/entidad/nuestra-entidad>

³ Organigrama. (2018, 28 septiembre). Empresas Publicas De Hato Corozal. <http://www.ephac.gov.co/entidad/organigrama>

Ilustración 1. Organigrama EPHAC S.A E.S.P.



Fuente: Empresas Publicas De Hato Corozal (organigrama)

“Las funciones generales del jefe de área de unidad técnica operativa se encuentran en el manual de funciones de la empresa donde se encarga de Planear, dirigir y controlar las actividades de los procesos misionales de Gestión de Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo, orientados al cumplimiento de las metas planteadas por la Gerencia, garantizando la eficiente prestación de los servicios con calidad, continuidad y aceptabilidad, dando cumplimiento a la normatividad regulatoria en materia de servicios públicos domiciliarios.

El área de apoyo técnico operativo servicio de acueducto y alcantarillado, responde por la ejecución de actividades de apoyo derivadas del proceso misional de Gestión de Acueducto y Gestión de Alcantarillado, orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados por el jefe del Área de Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo, propendiendo por garantizar la calidad en

el servicio de acueducto con la finalidad de preservar la buena salud de todos los habitantes del municipio.”⁴

Resolución 0330 de 2017 – Reglamento Técnico RAS

“Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

La Resolución aplica a los prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, a los entes de vigilancia y control, a las entidades territoriales y las demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el marco de la Ley 142 de 1994. Así como a los diseñadores, constructores, interventores, operadores, entidades o personas contratantes que elaboren o adelanten diseños, ejecución de obras, operen y mantengan obras, instalaciones o sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico.”⁵

La optimización de un sistema de tratamiento está definida como el proceso de diseño para lograr el mejor equilibrio y la compatibilidad entre los componentes del sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo los recursos disponibles. Por esta razón, para el desarrollo de este proyecto es necesario tener en cuenta diferentes conceptos.

Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP

⁴ Funciones y deberes. (2018, 28 septiembre). Empresas Publicas De Hato Corozal. <http://www.ephac.gov.co/entidad/funciones-y-deberes>

⁵ Resolución 0330 - 2017 | Minvivienda. (2017, 8 junio). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

“Es una tecnología para purificar el agua para consumo humano, conformada por unidades y operaciones de tipo hidráulico, químico o biológico, cuyo fin es reducir la contaminación de características no deseables en el agua cruda para alcanzar las exigencias legales en cuanto a calidad del agua para consumo.”⁶

Tipos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable

Convencionales: Es un sistema de tratamiento integrado que está compuesto por todas las etapas para la obtención del agua potable como son: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Cada planta se debe diseñar de acuerdo al análisis de agua y trazabilidad. Si el agua tiene alto contenido de hierro se requiere un tratamiento de oxidación previo mediante torres de aireación.

Compactas: Es un sistema integrado de tratamientos en varias etapas donde se incluye todos los procesos requeridos para obtener el agua potable. Ocupan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente añadiendo módulos de clarificación y de filtración.

Floculación

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.⁷

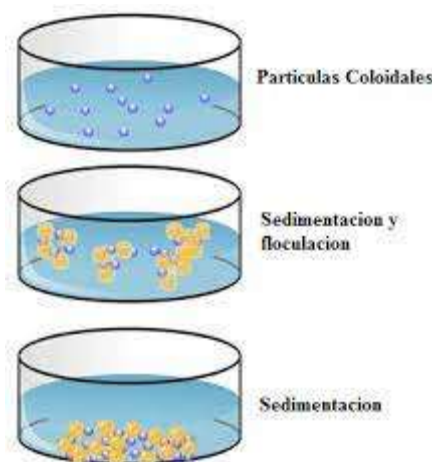
⁶ MALDONADO, W. 2018. Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Chipatá - Santander. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C

⁷ FLOCULACION. (2018). Equipos y laboratorio de Colombia.
<https://www.equiposylaboratorio.com/porta/articulo-ampliado/floculacion>

Sedimentación

La sedimentación es un sencillo pretratamiento físico del agua que se realiza antes de la aplicación de otros tratamientos de purificación, como la filtración y la desinfección. Elimina tanto pequeñas partículas suspendidas no deseadas (arena, limo y arcilla) como algunos contaminantes biológicos del agua bajo la influencia de la gravedad. Cuanto más tiempo se mantenga el agua sin movimientos, más se depositarán los sólidos suspendidos y los patógenos en el fondo del contenedor.⁸

Ilustración 2. Proceso de Floculación - Sedimentación



Fuente: Coagulantes, floculantes y agentes deshidratantes de lodos. (2022, 20 noviembre).blogspot.<http://tratamientodelodos.blogspot.com/2015/11/coagulantes-floculantes-y.html>

Recolección Y Toma De Datos

Para una debida toma y recolección de datos se deben tener en cuenta factores

⁸ Bruni, M. & Raju Shrestha (Environment and Public Health Organization-ENPHO) y Dorothee Spuhler (seecon). (s. f.). Sedimentación. SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/sedimentaci%C3%B3n->

determinantes como:

- Selección del sitio:

Este a su vez necesita de unos aspectos que son de suma importancia para las buenas condiciones de las muestras, y para ello se deben tener en cuenta los siguientes:

- El objetivo y uso del agua.
- La facilidad del acceso al punto de muestreo.
- La llegada y mezcla del cuerpo del agua.
- La velocidad del flujo.
- Los cambios en las características del cuerpo del agua.
- El tipo de lecho.
- La profundidad y tabulación.
- Las estructuras físicas y artificiales (presas, diques, etc.).
- Medios y condiciones de protección personal. Ej. Que el que hace el muestreo sepa nadar.
- Recursos otorgados al programa: Vehículo, Medio de Transporte.

- Frecuencia de muestreo: La frecuencia con la que debe hacerse el muestreo, dependerá de las variaciones que tenga la calidad del agua, por lo general se toman muestras en cada turno (tres veces al día). Para ello hay que tener en cuenta lo mencionado en el Decreto 2105 de 1983.

- Determinación del volumen: Lo importante en esta determinación es tener en cuenta que el volumen de la muestra, deberá ser el necesario para efectuar cada una de las pruebas con cada uno de las herramientas mencionadas en el análisis.

- Tipo de muestra: Para el estudio de la calidad del agua se pueden tener dos tipos de muestras, dependiendo de las condiciones de la masa de agua y el objetivo del muestreo:

- Muestra simple: Una muestra simple es una muestra puntual, tomada sin tener en cuenta factores tales como:
 - Variación
 - Caudal
 - Horario
- Muestra compuesta: Una muestra compuesta es aquella que tiene las mismas variables y además está formada por una serie de muestras simples. Es muy difícil obtener una muestra simple que sea realmente representativa, por lo tanto, es conveniente tener varias muestras pequeñas, ubicados en diferentes puntos del agua, en vez de un gran volumen de agua tomado en un solo punto.

IRCA: Es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, este indicador permite conocer la calidad del agua que consume la comunidad e identifica el grado de riesgo que enfrentan las personas cuando consumen aguas según el cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas necesarias.⁹

Estándares de calidad del agua para consumo humano (resolución 2115 de 2007).

Según la Resolución 2115 de 2007. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Ministerio de la Protección Social, Bogotá D.C, Colombia, 22 de junio de 2007.

Los estándares de calidad del agua para consumo humano son los siguientes:

Características físicas y químicas del agua para consumo humano:

- Características físicas: el agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalen a continuación:

⁹ Camelo, M. D. F. (2020, 25 septiembre). ¿Conoces el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para el Consumo Humano? » Observatorio Ambiental. Observatorio Ambiental de Bogotá. <https://oab.ambientebogota.gov.co/conoces-el-indice-de-riesgo-de-la-calidad-del-agua-para-el-consumo-humano/>

Tabla 1. Características físicas

Parámetros	Expresadas Como	Valor Máximo Aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente. Resolución 2115 Del 2007.

- Conductividad: el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta de 1000 microsiemens/cm.
- Potencial de hidrógeno: el valor para el pH del agua para consumo humano debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

- Características químicas:

Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada uno de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que se señalen a continuación:

Tabla 2. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

Parámetros	Expresadas Como	Valor Máximo Aceptable (Mg/L)
Antimonio	Sb	0,02

Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos	HAP	0,01
Policíclicos (HAP)		

Fuente. Resolución 2115 Del 2007.

Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana. Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

Tabla 3. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Parámetros	Expresadas Como	Valor Máximo Aceptable (Mg/L)
Carbono Orgánico total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0,1

Nitratos	NO_3^-	10
Fluoruros	F^-	1,0

Fuente. Resolución 2115 Del 2007.

Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana. Los elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico son los siguientes:

Tabla 4. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

Parámetros	Expresadas Como	Valor Máximo Aceptable (Mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO_3	200
Cloruros	Cl^-	250
Aluminio	Al^{3+}	0,2
Dureza Total	CaCO_3	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO_4^{2-}	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO_4^{3-}	0,5

Fuente. Resolución 2115 Del 2007.

- El valor máximo aceptable del residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma (Al^{3+}) será de 0,2 mg/L. Si se utiliza otro coagulante basado en sales de hierro, el valor máximo aceptable para el residual será 0,3 mg/L. En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.
- El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro. Cuando se utilice un desinfectante diferente al cloro o cualquiera de las formulaciones o sustancias que utilicen compuestos distintos para desinfectar el agua para consumo humano, los valores aceptables para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán los reconocidos por la Organización Mundial de la Salud y adoptados por el Ministerio de la Protección Social, quien tendrá en cuenta el respectivo concepto toxicológico del producto para expedir el concepto técnico.¹⁰

8.2 Marco Conceptual

Procesos de Purificación del agua:

¹⁰ REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., junio de 2007.

“Para efectos de la interpretación y aplicación se tienen en cuenta las definiciones adoptadas por la Resolución 0330 de 2017 para las etapas de potabilización del agua.”¹¹

- Agua pura: El agua pura es aquella que no ha sido disuelta con ninguna clase de químico y tampoco tiene elementos en suspensión. En la naturaleza dicho fenómeno no se podrá encontrar, puesto que el agua tiene una capacidad muy elevada de combinarse con otros elementos.
- Agua cruda: El agua cruda es aquella que no ha sido sometida a ninguna clase de tratamiento.
- Agua potable: El agua potable es aquella que ya ha sido sometida a procesos de tratamiento, y está lista para el consumo humano (porque sus capacidades físicas, químicas y de salubridad son aptas para ello).
- Plantas convencionales: En este tipo de PTAP cada uno de los procesos se realizan en diferentes estructuras, y los tiempos de residencia son muy altos.
- Plantas compactas: Este sistema a diferencia del convencional tiene solamente una unidad en donde se realizan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, después de allí en conjunto se dirigen hacia los filtros. Sus tiempos de residencia serán bajos.
- Análisis físico-químico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.
- Bocatoma: Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema hidráulico.

¹¹ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 de 2017. Título 7. Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.

- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.
- **Aeración:** Proceso en el que se produce paso del aire a través del agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.
- **Coagulación:** Aglutinación de las partículas coloidales suspendidas presentes en el agua, por efecto de cambio de carga eléctrica suscitado por la adición de coagulantes.
- **Floculación:** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.
- **Sedimentación:** Proceso por el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.
- **Filtración:** Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.
- **Almacenamiento:** Acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.
- **Test 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.
- **Calidad del agua:** Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.
- **Cloración:** Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

- Fuente de abastecimiento: Depósito o curso de agua superficial o subterránea.
Utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.
- Muestra puntual de agua: Muestra tomada en un punto o lugar en un momento determinado.
- pH optimo: Valor de pH que produce la máxima eficiencia de remoción en un proceso determinado.
- Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada dispersada por las partículas en suspensión.¹²

8.3 Marco Legal

La principal pauta que rige todas las obras hidráulicas en el país es el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), cuya versión aprobada es la realizada en el año 2000 y cuya última actualización es la del año 2011, sin embargo, está última versión aún está en proceso de aprobación, por lo cual se sigue utilizando el RAS 2000.

Tabla 5. Normatividad Aplicable

NORMA	ENTIDAD	OBJETO
Constitución política nacional	Gobierno Nacional	Se da conocer las responsabilidades al Estado en temas ambientales y la aplicación de controles a las actividades o

¹² Min Vivienda. (2013). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 Título C. Bogotá: Diagramación y diseño gráfico.

		usos del medio ambiente, lo cual busca evitar el deterioro ambiental. ¹³
RAS 2000	Ministerio de desarrollo	Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. ¹⁴
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial	sistemas de potabilización de aguas como los estudios y diseños de un sistema de potabilización con el fin de cumplir los requisitos mínimos de calidad del agua para consumo suministrada a la comunidad. ¹⁵
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y se derogan las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. ¹⁶
Decreto 1575 de 2007	Ministerio De La Protección Social	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad

¹³ PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 1991. Constitución Política de Colombia.

¹⁴ Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). minvivienda. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf

¹⁵ REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., junio de 2007.

¹⁶ República de Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio. Resolución número 0330, 08 de junio de 2017.

		del Agua para Consumo Humano. ¹⁷
Resolución 799 de 2021	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, expidió la Resolución 799 de 2021, por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. ¹⁸

Fuente: Autor

8.4 Estado Del Arte

Tabla 6. Estado del arte de antiguos proyectos

Autor(Es)	Titulo	Enfoque Temático	Año De Publicación
Edwin Javier Hernández Triana	Diseño Y “se propone el diseño y construcción De Una Planta Modelo De Tratamiento Para La Potabilización De Agua, Se Dispondrá En El Laboratorio De Aguas De La	Y “se propone el diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable en la universidad católica de Colombia para desarrollar el aprendizaje y los conocimientos de los estudiantes observando las partes y el funcionamiento de la planta	Universidad Católica De Colombia Bogotá D.C. (2017)

¹⁷ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1575 de 2007. Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. p

¹⁸ Resolución 0799 - 2021 | Minvivienda. (2021, 9 diciembre). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0799-2021>

	Universidad Católica De Colombia	para purificar el agua e incentivar a los alumnos a investigar y profundizar sobre nuevas tecnologías para el proceso de tratamiento del agua” (Hernandez & Corredor, 2017).	
Marly Yeraldin Martínez Barrera	Actualización Del Sistema De Gestión De Mantenimiento De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Los Garzones De La Empresa Veolia Aguas De Montería.	“El proyecto va enfocado a mejorar los procesos de gestión de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable, recopilando información para crear una herramienta tecnológica como un software para ejecutar el mantenimiento oportuno evitando fallas en el sistema de la empresa Veolia”. (Martinez, 2020).	Universidad De Córdoba Córdoba (2020)
Laura Meliza Montiel Sierra	Diagnóstico Del Estado Actual De La PTAP Del Municipio De Moniquirá	“se plantea realizar un diagnóstico general del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Moniquirá, para identificar las fallas dentro del proceso de tratamiento y plantear las posibles alternativas de	Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia Tunja (2019)

mejoramiento”. (Montiel, 2019)		
William Gustavo Maldonado Pinzón	Optimización De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Chipatá (Santander)	En este proyecto se propuso la optimización de la PTAP del municipio de Chipatá, donde inicialmente se realizó un diagnóstico dentro de la planta observando el estado y funcionamiento de las unidades que la componen. Mediante la recolección de información y análisis de equipos y unidades de tratamiento se determinó el diagnóstico actual de la planta. En el diagnóstico del proceso se identificó el estado de la estructura física de la PTAP, la cual es de tipo hidráulico convencional, donde se analiza el periodo de diseño y la población de diseño usados en los cálculos teóricos, en la descripción de las unidades del tren de tratamiento en su mayoría se describen en estado físico bueno, resaltando las características operacionales, Universidad Francisco José De Caldas Bogotá D.C (2018)

las cuales en su mayoría no se están realizando por personal certificado. Por último, se realizaron las recomendaciones para la optimización de la planta y su mejoramiento. (Maldonado, 2018)

Juan Camilo Loaiza Soto.	Diagnóstico	Del	El objetivo de este estudio fue	
	Sistema Operativo De		realizar un diagnóstico del	
	La Planta De		sistema operativo de la PTAP	
	Tratamiento De Agua	Guacavia	en el municipio de	
	Potable Guacavia En	Cumaral,	con el propósito de	
	El Municipio De	identificar cuáles son los		
	Cumaral,	procesos unitarios ineficientes.		
	Departamento	Del	Para el desarrollo de este	
	Meta		proyecto se evaluaron los diseños	Universidad
			hidráulicos teóricos y reales en la	Santo Tomas
			PTAP, donde se contrastaron las	Meta (2018)
			condiciones hidráulicas reales de	
			la operación respecto a la	
			normatividad. Se realizó un	
			diagnóstico de los procesos	
			unitarios y el estado de los	
			equipos de la PTAP, analizando	
			la situación actual del sistema de	

tratamiento, evaluando el diseño conceptual junto con los parámetros hidráulicos de cada etapa, por último, se analizó los parámetros físico químicos respecto a la resolución 2115 de 2017 y así plantear alternativas de mejoramiento. (Loaiza, 2018)

Fuente: Autor

9. Materiales Y Métodos

9.1 Materiales

Termómetro, cronometro, correntómetro, equipo de prueba de jarras, vasos de precipitado, goteros, jeringas, tubímetros, medidores de (pH, color, cloro), programa Microsoft Word, Microsoft Excel, Ideam, Dane.

9.2 Metodología

Este proyecto que se desarrolló bajo unas fases, en donde los objetivos se exponen en las diferentes descripciones, las cuales permiten la integración y recopilación de la información recolectada, para lograr un mayor entendimiento y análisis de la Planta de Tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal - Casanare, limitado a observación de los acontecimientos sin realizar intervenciones. Mediante la observación se evidencio las características físicas de cada una de las estructuras hidráulicas de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en el municipio de Hato Corozal (Casanare), su funcionamiento, el aspecto físico-químico del agua que ingresa y sale de la planta para posteriormente ser servida a la población del municipio a abastecer.

Se recopiló información del personal de operativo de la PTAP, del manejo y operación de la misma, donde se realizará una comparación teniendo en cuenta los resultados arrojados por los laboratorios y así determinar si la PTAP está recibiendo el mantenimiento y operación adecuado para brindar agua potable para el consumo humano de acuerdo a las características físico – químicas y parámetros establecidos por la Resolución 2115 del 2007. De igual manera por medio de la actualización del manual de operación y mantenimiento se

establecerán las pautas para que los operadores ejecuten sus funciones de manera adecuada para así poder brindar agua potable y de calidad a los habitantes del casco urbano.

Se plantearon 3 fases, teniendo un orden cronológico donde se buscó recopilación de la información y análisis de lo recolectado, lo cual al ser realizado busca cumplir con los objetivos, a lo cual se encuentran asociados:

Fase I: Preliminares

- Inspeccionar visualmente las estructuras, verificando los componentes de la planta (procesos implementados para la potabilización), funcionamiento de los mismos, solicitud de información como planos, caudal captado y dosificaciones de químicos aplicados.
- Búsqueda y Análisis de información primaria y secundaria. Teniendo en cuenta el objetivo general, se realizará una búsqueda y análisis de la información pertinente para tener una mejor claridad de los sistemas de potabilización.
- Leer y conocer los laboratorios a utilizar para identificar las características del agua problema y encontrar la dosis optima de coagulante.

Fase II: Diagnóstico y análisis

- Toma de muestras de agua en la entrada y salida de la PTAP.
- Realizar los ensayos de laboratorios para realizar la caracterización del agua y test de jarras con el fin de obtener la dosis optima de coagulante. Los ensayos de laboratorio se realizan en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua de Hato Corozal.
- Desarrollo de nuevos formatos de (seguimiento y control de insumos) para las actividades ejecutadas por los operarios, suministros e insumos utilizados y los resultados de las pruebas realizadas en campo.
- Realizar la actualización del manual de operación y mantenimiento de la PTAP.

Fase III: Socialización y Conclusiones

- socializar mediante una capacitación a los operadores y profesionales asociados al Área de Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo el manual actualizado de operación y mantenimiento de la PTAP.
- Dependiendo de los estudios y análisis del agua y teniendo en cuenta el tratamiento que se efectúa en la PTAP se realizarán las recomendaciones para mejorar y brindar un aporte para abastecer de agua apta para el consumo humano.
- Se realizará un informe final, que reúna todos los estudios y procesos realizados en el proyecto de grado, logrando así el desarrollo del objetivo del mismo y brindar recomendaciones a los operarios para mejoras de la PTAP.

10. Información General

Para realizar el correcto diagnóstico de la planta de tratamiento del municipio de Hato Corozal (Casanare), primeramente, es necesario conocer las características físicas del municipio y su estructura poblacional, con el fin de conocer el crecimiento población y determinar las necesidades de agua potable actuales y futuras del municipio. Se obtuvo la información del municipio y su población en el PBOT vigente, además se tomó la información suministrada por el DANE sobre censos poblacionales de diferentes años para realizar la proyección de población. Por último, se realizó el cálculo de las necesidades de agua potable teniendo en cuenta las características del municipio y tomando como referencia la Resolución 0330 de 2017.

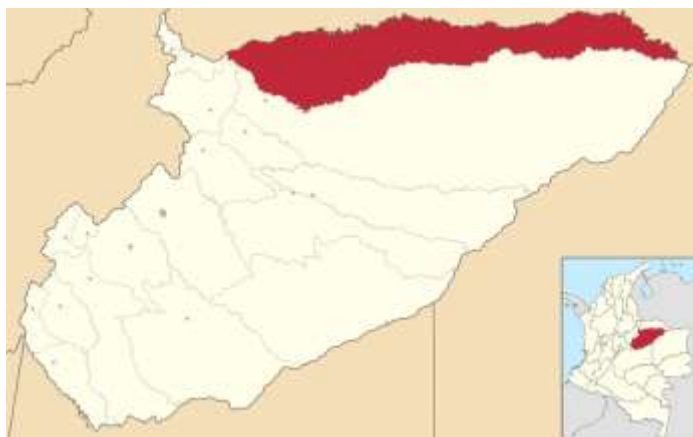
10.1 Características Físicas

El municipio de Hato Corozal se define por la división político administrativa del Departamento de Casanare, a nivel provincial comparte su territorio con los municipios de Tame (Arauca) hacia el Norte, al oriente con La Salina, Sácama y Támara (Casanare), al occidente con los municipios de La Primavera y Puerto Carreño (Vichada), y al sur con Paz de Ariporo (Casanare).

Hato Corozal es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Casanare, situado a $6^{\circ}09'17''\text{N}$ $71^{\circ}45'55''\text{O}$, a 114,81 km de la capital Yopal. Tiene una extensión de 5.436 km² y una población aproximada de 11.500 habitantes. Se encuentra a una altura de 250 m s. n. m., con temperaturas de 25 a 27 °C.¹⁹

¹⁹ Información general. (2018, 16 mayo). Alcaldía Municipal de Hato Corozal en Casanare. <http://www.hatocorozal-casanare.gov.co/transparencia>

Ilustración 3. Ubicación geográfica Hato Corozal



Fuente: Alcaldía municipal de Hato Corozal

En Municipio Hato Corozal, los veranos son cortos, cálidos, bochornosos, secos y nublados y los inviernos son cortos, calurosos, opresivos, mojados y mayormente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 19 °C o sube a más de 35 °C. La temporada calurosa dura 1,9 meses, del 7 de enero al 4 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en Municipio Hato Corozal es febrero, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 22 °C.

La temporada fresca dura 2,7 meses, del 18 de mayo al 10 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 29 °C. El mes más frío del año en Municipio Hato Corozal es julio, con una temperatura mínima promedio de 21 °C y máxima de 29 °C.

Ilustración 4. Temperatura máxima y mínima promedio en Municipio Hato Corozal



Fuente: *WeatherSpark.com*

Precipitación:

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Municipio Hato Corozal varía muy considerablemente durante el año.

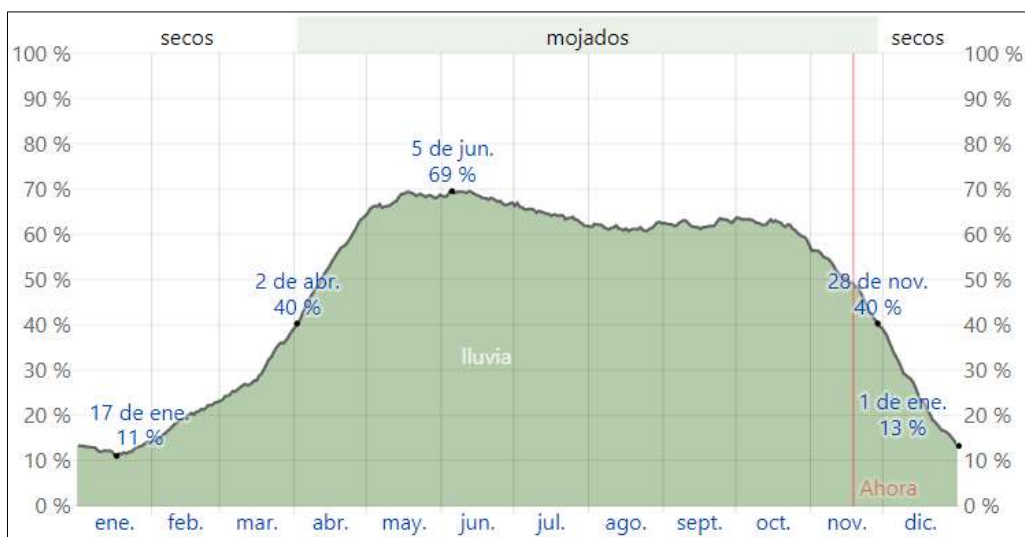
La temporada más mojada dura 7,9 meses, de 2 de abril a 28 de noviembre, con una probabilidad de más del 40 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Municipio Hato Corozal es junio, con un promedio de 20,4 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 4,1 meses, del 28 de noviembre al 2 de abril. El mes con menos días mojados en Municipio Hato Corozal es enero, con un promedio de 3,9 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Municipio Hato

Corozal es junio, con un promedio de 20,4 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 69 % el 5 de junio.

Ilustración 5. Probabilidad diaria de precipitación en Municipio Hato Corozal



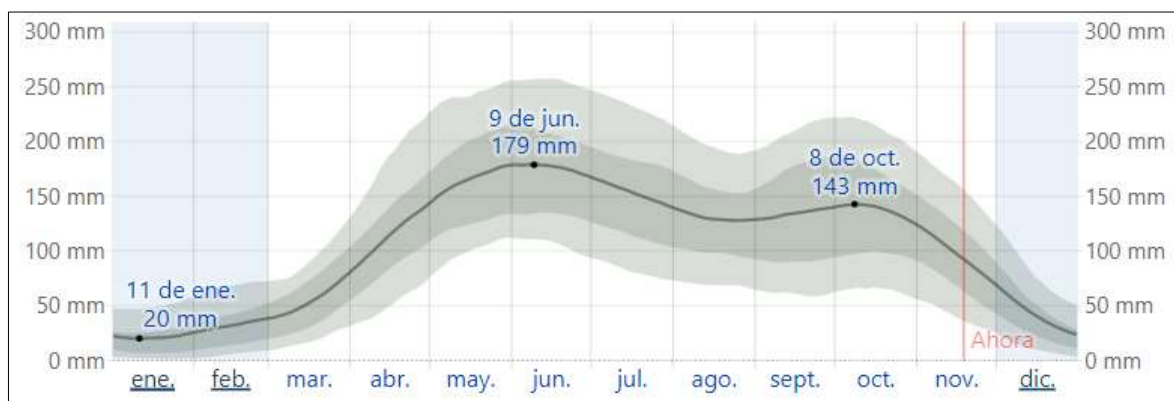
Fuente: *WeatherSpark.com*

Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. El municipio de Hato Corozal tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación. Llueve durante el año en Municipio Hato Corozal.

- El mes con más lluvia en el municipio de Hato Corozal es junio, con un promedio de 178 milímetros de lluvia.
- El mes con menos lluvia en el municipio de Hato Corozal es enero, con un promedio de 20 milímetros de lluvia.

Ilustración 6. Promedio mensual de lluvia en Municipio Hato Corozal



Fuente: *WeatherSpark.com*

10.2 Estructura Poblacional

Para el año 1985, el municipio de Hato Corozal contaba con una población de 8,122 habitantes, para una extensión de 5.436 km², su densidad poblacional era de 1,49 hab/Km². Con base en la información presentada por el DANE para el censo del año 2018, la población de Hato Corozal para ese año es de 12,328 habitantes con densidad poblacional de 2,26 hab/Km², repartidos en 5,167 habitantes en la cabecera municipal (41,91%) y 7,161 habitantes en el resto del municipio (58,09%).²⁰

Tabla 7. Estructura Poblacional

Área	Habitantes	%
Urbano	5,167	41,91%
Resto	7,161	58,09%
Total	12,328	100%

Fuente: DANE, Censo Nacional de Población y Vivienda, (CNPV 2018).

²⁰ DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda.

La población flotante como fenómeno social tiene un impacto directo en las ciudades por las que transitan. Al ser un hecho la creciente presencia de estos pobladores en las urbes contemporáneas. La movilidad humana juega un papel preponderante en la dinámica de crecimiento de las ciudades. Hoy en día estos flujos se alimentan de diversas realidades sociales, así como de dimensiones temporales y espaciales que conducen al surgimiento del estudio de la población flotante.

Actualmente el municipio de Hato Corozal no cuenta con un estudio estadístico que proporcione la información adecuada sobre cierta cantidad de población ni estimación que cuantifique la cantidad de personas en mención (grupo demográfico como personas sin residencia permanente o simplemente a diversos subgrupos demográficos sin un lugar de residencia definido), debido a esto, en el siguiente análisis poblacional sólo se tendrán en cuenta los censos realizados por el DANE desde el año 1985 hasta el del año 2018.

10.3 Análisis Poblacional

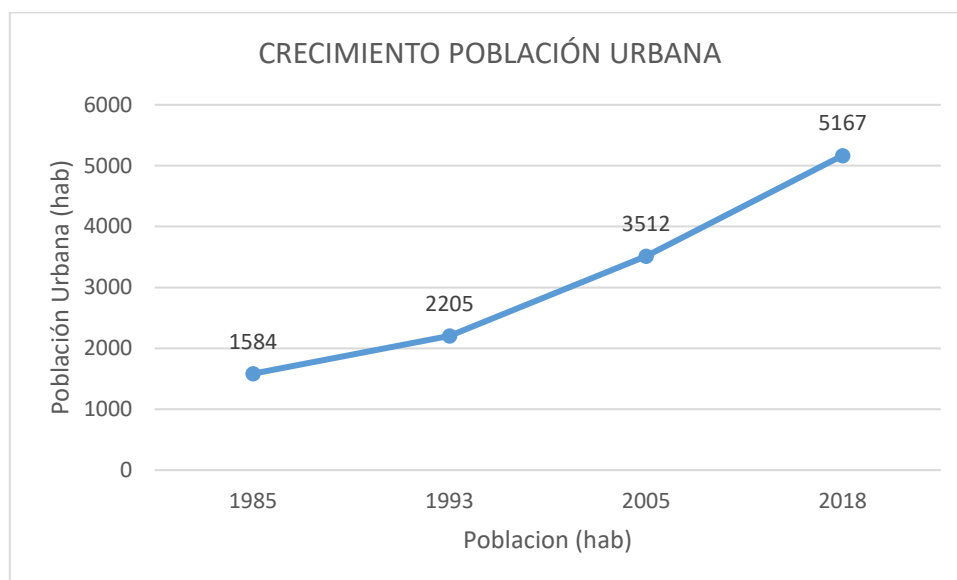
La estimación se realizó a partir de la información del número de habitantes de los censos realizados a nivel nacional, especialmente de la zona urbana del municipio, que se abastece por la planta de tratamiento de agua potable

Tabla 8. Análisis Poblacional

AÑO	Población (hab)
1985	1584
1993	2205
2005	3512
2018	5167

Fuente: DANE, Censos (1985 – 2018).

Ilustración 7. Grafica crecimiento de la población urbana



Fuente: autor

De acuerdo a la Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, se establece en el Título 2, Capítulo 1, Artículo 40 que, para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años. Por lo anterior, las proyecciones de población se presentan cada 5 años, desde el año 2022 hasta el 2047. Se tienen en cuenta los datos iniciales Ilustración 7, para cada método de proyección

Proyección lineal de la población:

El método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + k(T_f - T_{uc})$$

Para calcular el valor de K, se toma el valor del último censo y el del censo inicial, como se muestra a continuación:

$$k = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Donde:

- Pf: población final
- Puc: población último censo
- Pci: población censo inicial
- K: tasa de crecimiento
- Tuc: tiempo último censo
- Tci: tiempo censo inicial

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos para el análisis poblacional de la cabecera municipal en el municipio de Hato Corozal aplicando el método lineal.

Tabla 9. Análisis Poblacional (Urbano)

AÑO	Población (hab)
2022	5639
2027	6230
2032	6821
2037	7411
2042	8002
2047	8593

Fuente: Autor

Proyección método geométrico:

Este método es útil en poblaciones que muestran importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión, las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que el método anteriormente mencionado. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\left(\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right)} - 1$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de la población proyectada por el método geométrico:

Tabla 10. Proyección método geométrico

AÑO	Población (hab)
2022	5901
2027	6968
2032	8229
2037	9720
2042	11484
2047	13569

Fuente: Autor

Proyección método exponencial:

Para este método se requiere conocer por lo menos tres censos para determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{k*(T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada censo, así:

$$k = \frac{\log(P_{uc}) - \log(P_{ci})}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde:

- Pf: población final
- Puc: población último censo
- Pci: población censo inicial
- K: tasa de crecimiento
- Tcp: tiempo censo posterior
- Tci: tiempo censo anterior

Tabla 11. Proyección método logarítmico

AÑO	Población (hab)
2022	6139
2027	7372
2032	8853
2037	10631
2042	12767
2047	15331

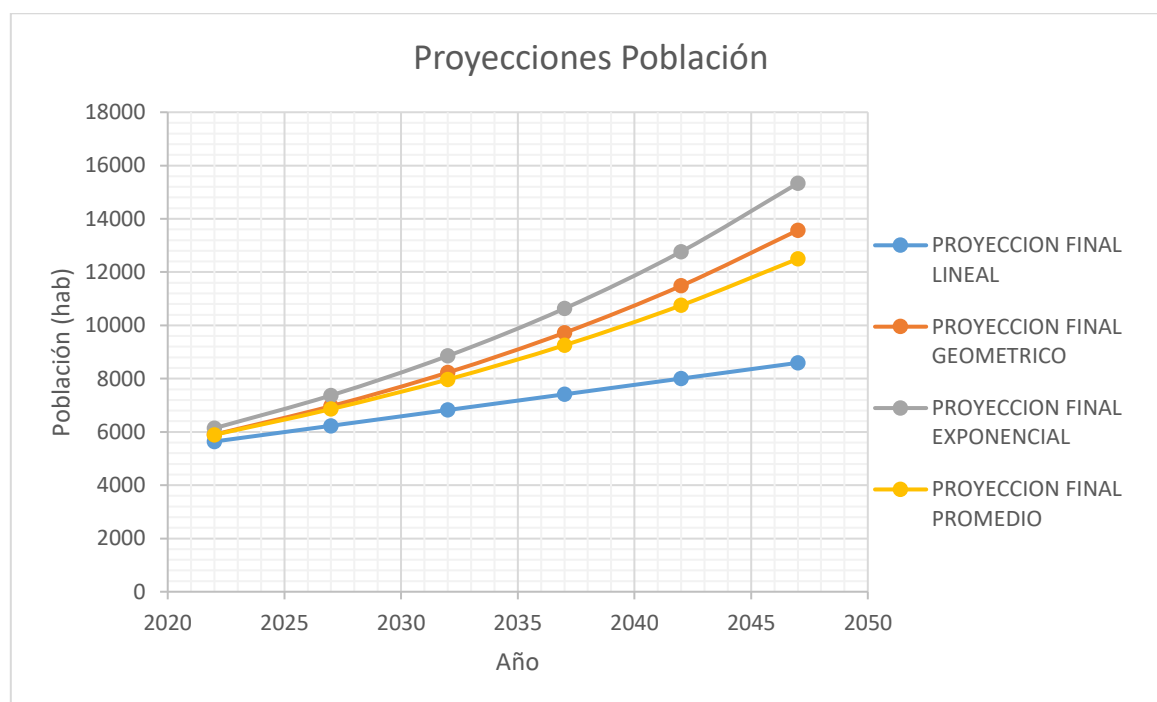
Fuente: Autor

En la siguiente tabla se evidencian los resultados obtenidos:

Tabla 12. Proyección Poblacional Final

Proyección Final				
Año	Lineal	Geométrico	Exponencial	Promedio
2022	5639	5901	6139	5893
2027	6230	6968	7372	6857
2032	6821	8229	8853	7968
2037	7411	9720	10631	9254
2042	8002	11484	12767	10751
2047	8593	13569	15331	12497

Ilustración 8. Grafica Proyección Poblacional.



Fuente: Autor

10.4 Determinación De Las Necesidades De Agua Potable

Las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” no cuenta con datos confiables sobre el consumo real de agua que se genera en la población, por lo anterior el cálculo de la dotación neta se hizo según la Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida de la Resolución 0330 de 2017 (RAS). Para el municipio de Hato Corozal la dotación neta corresponde a 140 litros por habitante al día (140 L/hab*día), pues se encuentra a una altura menor que 1000 m.s.n.m.

Tabla 13. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

Altura Promedio Sobre El Nivel Del Mar De La Zona Atendida	Dotación Neta Máxima (L/Hab*Día)
> 2000 m s. n. m.	120
1000 – 2000 m s. n. m.	130
< 1000 m s. n. m.	140

Fuente: Resolución 0330/2017 – RAS 2017.

En base en la dotación neta, se pudo proyectar la dotación bruta, la cual tiene en cuenta las pérdidas técnicas máximas en todos los componentes del sistema, teniendo en cuenta la Resolución 0330 de 2017, Artículo 44, se asumió como porcentaje de pérdidas técnicas máximas el valor de %p=25%. Para determinar la dotación bruta se utiliza la siguiente expresión:

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

$$d_{bruta} = \frac{140(\frac{L}{hab * dia})}{1 - 0,25} = 187 (\frac{L}{hab * dia})$$

Para determinar la demanda de caudal, se debe calcular el caudal medio diario (Qmd), el caudal máximo diario (QMD) y el caudal máximo horario (QMH), mediante las siguientes expresiones:

Caudal medio diario (Qmd): es el caudal medio calculado para la población proyectada con sus ajustes, teniendo en cuenta la dotación asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un periodo de un año. La población proyectada a 25 años para el casco urbano del municipio de Hato Corozal es de 12,497 habitantes por lo que el caudal medio diario se constituye en:

$$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{12497 * 187}{86400} = 27,05 \text{ L/s}$$

Caudal máximo diario (QMD): corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas en un periodo de un año. Realizados los cálculos, teniendo en cuenta el coeficiente de consumo máximo diario K1 de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017, el valor de K1 = 1,2

$$Q_{MD} = Q_{md} * K1$$

$$Q_{MD} = 27,05 \frac{L}{s} * 1,2 = 32,46 \text{ L/s}$$

Caudal máximo horario (QMH): corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año. Realizados los cálculos, teniendo en cuenta el coeficiente de consumo máximo diario K2 de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017, el valor de K2 = 1,5

$$Q_{MH} = Q_{MD} * K2$$

$$Q_{MH} = 32,46 \frac{L}{s} * 1,5 = 48,69 L/s$$

En el Título II se incluyen los requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos que obligatoriamente deben reunir los diferentes procesos involucrados en la planeación, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y/o aseo que se desarrollen, para garantizar su estabilidad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia.²¹

Oferta hídrica medida-Aforos en campo:

Con el propósito de conocer el caudal ofertado por la fuente hídrica Quebrada Las Guamas, se realizó un aforo con molinete aproximadamente 100 metros aguas arriba de la captación.

Para realizar la medición de velocidad se utilizará un correntómetro digital Global Water modelo FP111, donde los valores de las velocidades corregidas corresponden a la ecuación de calibración del molinete:

$$VC = (0,690904 * rps) + 0,014694$$

²¹ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330 de 2017. Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título II: Requisitos Técnicos. p. 31.

Ilustración 9. Estuche y correntómetro



Fuente: Autor

Ilustración 10. Correntómetro digital Global



Fuente: Autor

los resultados obtenidos del aforo realizado, están contenidos en la siguiente ilustración (ilustración 11):

Ilustración 11. Aforo Quebrada Las Guamas

 EMPRESAS PÚBLICAS DE HATO COROZAL, ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO, GAS Y ASEO S.A E.S.P NIT No.900.225.245-9										
MEDICION DE CAUDAL CON MICROMOLINETE										
ANCHO DE LA SECCION (m)						AFORADOR				
4,4						EPHAC, Luis Ariel Roa				
MUNICIPIO - DIRECCION DE MUESTREO				FECHA Y HORA DEL MUESTREO			MOLINETE UTILIZADO			
Hato Corozal; N 06°10'3,3" O 71°46'10,1"				16/05/2022 10:00			Correntometro Digital Global Water; modelo FP111			
PUNTO DEL MUESTREO										
100 metros aguas arriba										
TABLA DE AFORO CON MICROMOLINETE										
DISTANCIA (m)	PROFUNDIDAD (m)		VELOCIDAD (m/s)			SECCION (m)		AREA (m^2)	CAUAL PARCIAL (L/s)	
ORILLA -0,0-	PT	PA	VA	VC	V prom	PM	AP	SP		
0	0,14	SUPERFICIAL			0,10	0,25	0,25	0,25	0,063	15,46
		20% DE PT								
		60% DE PT	0,1	0,10						
		80% DE PT								
0,5	0,36	SUPERFICIAL			0,39	0,39	0,40	0,5	0,198	77,27
		20% DE PT	0,4	0,42						
		60% DE PT	0,4	0,42						
		80% DE PT	0,3	0,33						
1	0,43	SUPERFICIAL			0,39	0,39	0,44	0,5	0,218	84,59
		20% DE PT	0,5	0,53						
		60% DE PT	0,3	0,33						
		80% DE PT	0,3	0,33						
1,5	0,44	SUPERFICIAL			0,39	0,30	0,38	0,5	0,188	56,52
		20% DE PT	0,6	0,63						
		60% DE PT	0,4	0,42						
		80% DE PT	0,1	0,10						
2	0,31	SUPERFICIAL			0,22	0,37	0,40	0,5	0,200	74,33
		20% DE PT	0,3	0,33						
		60% DE PT	0,2	0,22						
		80% DE PT	0,1	0,10						
2,5	0,49	SUPERFICIAL			0,53	0,49	0,47	0,5	0,233	114,52
		20% DE PT	0,8	0,83						
		60% DE PT	0,5	0,53						
		80% DE PT	0,2	0,22						
3	0,44	SUPERFICIAL			0,46	0,44	0,40	0,5	0,200	88,38
		20% DE PT	0,5	0,53						
		60% DE PT	0,5	0,53						
		80% DE PT	0,3	0,33						
3,5	0,36	SUPERFICIAL			0,42	0,32	0,30	0,5	0,148	47,69
		20% DE PT	0,5	0,53						
		60% DE PT	0,5	0,53						
		80% DE PT	0,2	0,22						
4	0,23	SUPERFICIAL			0,22	0,16	0,18	0,4	0,070	11,43
		20% DE PT								
		60% DE PT	0,2	0,22						
		80% DE PT								
4,4	0,12	SUPERFICIAL			0,10	0,10	0,12	0,25	0,030	3,14
		20% DE PT								
		60% DE PT	0,1	0,10						
		80% DE PT								
PT: Profundidad Total						AREA TOTAL (m^3)		1,545	573,318	
PA: Profundidad de Aforo						CAUDAL (L/s)				
VA: Velocidad Medida										
NOTA: LOS VALORES DE VELOCIDADES CORREGIDOS CORRESPONDEN SEGÚN LA ECUACION DE CALIBRACION DEL MICROMOLINETE UTILIZADO VC = (0,690904 x rps) + 0,014694										

Fuente: Autor

Ilustración 12. Grafica sección de la Quebrada



Fuente: Autor

Ilustración 13. Aforo 100 metros aguas arriba de la captación.



Fuente: Autor

En base al aforo realizado, se tiene que el caudal ofertado por la Quebrada Las Guamas es de $0,583 \text{ m}^3/\text{s}$. Aguas arriba del punto de captación del acueducto municipal no se tienen usuarios identificados.

A continuación, se relacionan los aforos realizados años anteriores, aguas arriba del punto de captación, que corresponden al caudal de salida del área de interés.

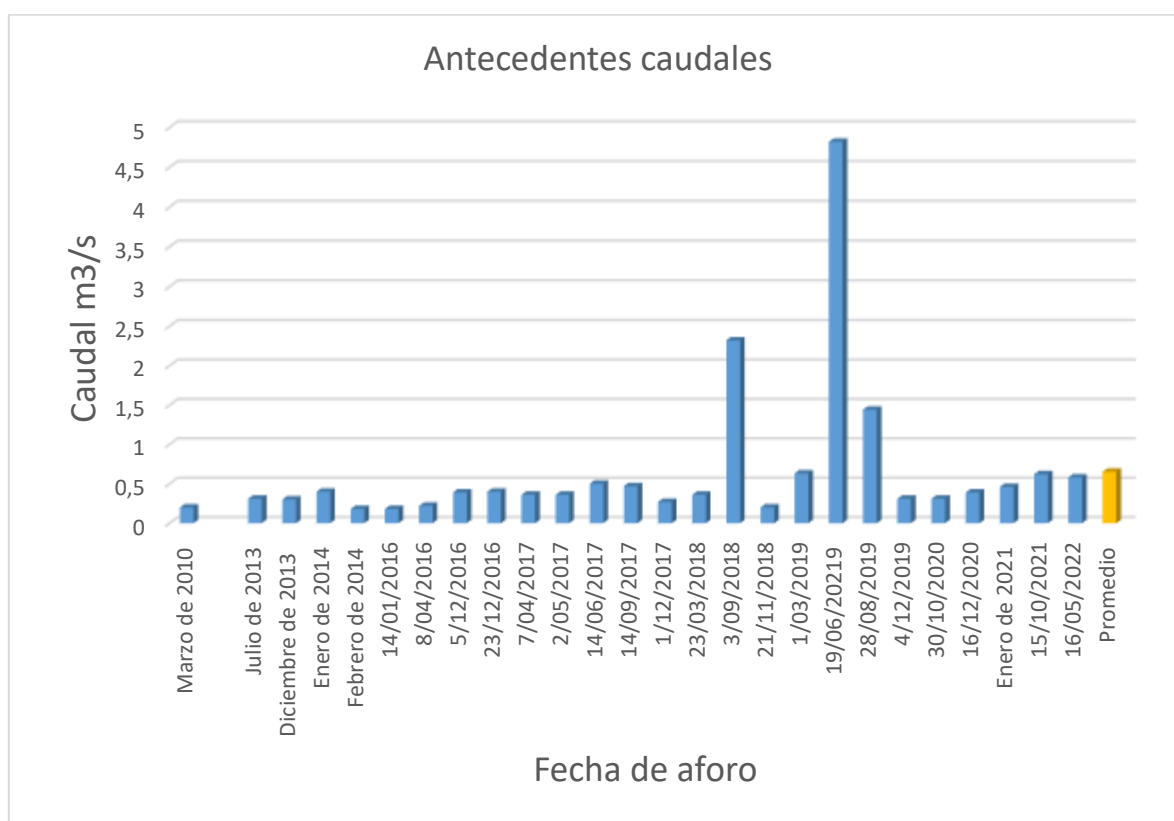
Tabla 14. Antecedentes caudales de salida microcuenca

Tiempo	Fecha	Caudal m3/s	Fuente
Seco	Marzo de 2010	0.20	Corporinoquia-Res 200.41.10.0636 de 03/05/2010
Húmedo	Julio de 2013	0.31	EPHAC S.A E.S P
Seco	Diciembre de 2013	0.30	EPHAC S.A E.S P
Seco	Enero de 2014	0.40	EPHAC S.A E.S P
Seco	Febrero de 2014	0.18	EPHAC S.A E.S P
Seco	14/01/2016	0.18	Aqualim/EPHAC
Húmedo	8/04/2016	0.22	Ambitest/EPHAC
Seco	5/12/2016	0.39	Ambitest/EPHAC
Seco	23/12/2016	0.40	Ambitest/EPHAC
Húmedo	7/04/2017	0.36	Ambitest/EPHAC
Húmedo	2/05/2017	0.36	Ambitest/EPHAC
Húmedo	14/06/2017	0.50	Ambitest/EPHAC
Húmedo	14/09/2017	0.47	Ambitest/EPHAC
Seco	1/12/2017	0.27	Ambitest/EPHAC
Seco	23/03/2018	0.36	Ambitest/EPHAC
Húmedo	3/09/2018	2.32	Ambitest/EPHAC
Húmedo	21/11/2018	0.20	Ambitest/EPHAC
Seco	1/03/2019	0.63	Ambitest/EPHAC
Húmedo	19/06/20219	4.82	Ambitest/EPHAC
Húmedo	28/08/2019	1.44	Ambitest/EPHAC

Seco	4/12/2019	0.31	Ambitest/EPHAC
Húmedo	30/10/2020	0.31	Aqualim/EPHAC
Seco	16/12/2020	0.39	Aqualim/EPHAC
Seco	Enero de 2021	0.46	Coamdesor
Húmedo	15/10/2021	0.62	Aqualim/EPHAC
Húmedo	16/05/2022	0.58	Autor/EPHAC
Promedio		0.65	

Fuente: EPHAC S.A E.S.P.

Ilustración 14. Antecedentes históricos de caudales Quebrada Las Guamas



Fuente: Autor

De acuerdo a la imagen anterior se observan tres grandes picos o caudales máximos en los periodos húmedos de los años 2018 y 2019 y los caudales mínimos en los años 2014 y 2016.

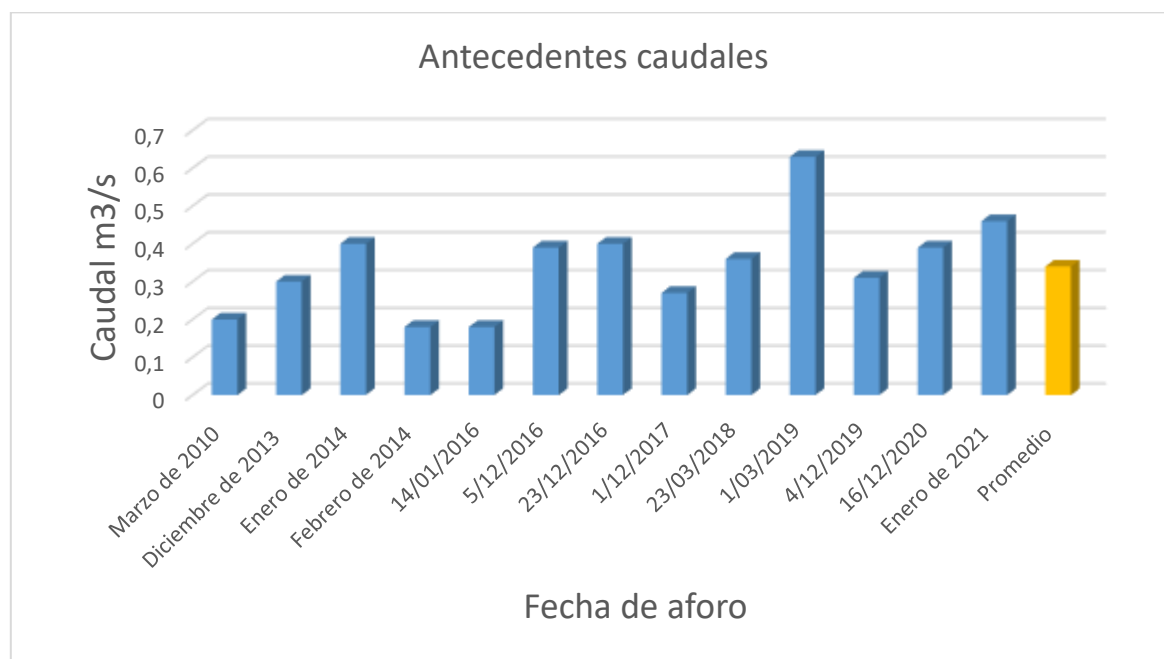
Los tiempos húmedos y secos, se determinaron de acuerdo al balance hídrico de la precipitación promedio mensual multianual, donde el periodo seco corresponde a los meses de diciembre a marzo y el periodo húmedo de abril a noviembre.

Tabla 15. Caudales periodo seco

Fecha	Caudal m3/s	Fuente
Marzo de 2010	0.20	Corporinoquia-Res 200.41.10.0636 de 03/05/2010
Diciembre de 2013	0.30	EPHAC S.A E.S P
Enero de 2014	0.40	EPHAC S.A E.S P
Febrero de 2014	0.18	EPHAC S.A E.S P
14/01/2016	0.18	Aqualim/EPHAC
5/12/2016	0.39	Ambitest/EPHAC
23/12/2016	0.40	Ambitest/EPHAC
1/12/2017	0.27	Ambitest/EPHAC
23/03/2018	0.36	Ambitest/EPHAC
1/03/2019	0.63	Ambitest/EPHAC
4/12/2019	0.31	Ambitest/EPHAC
16/12/2020	0.39	Aqualim/EPHAC
Enero de 2021	0.46	Coamdesor
Promedio		0.34

Fuente: EPHAC S.A E.S.P.

Ilustración 15. Variabilidad de caudales periodo seco



Fuente: Autor

En el periodo seco el caudal promedio corresponde a 0.34 m3/s, con un caudal máximo de 0.63 m3/s y un caudal mínimo de 0.18 m3/s

Para el periodo húmedo se presentaron los siguientes caudales.

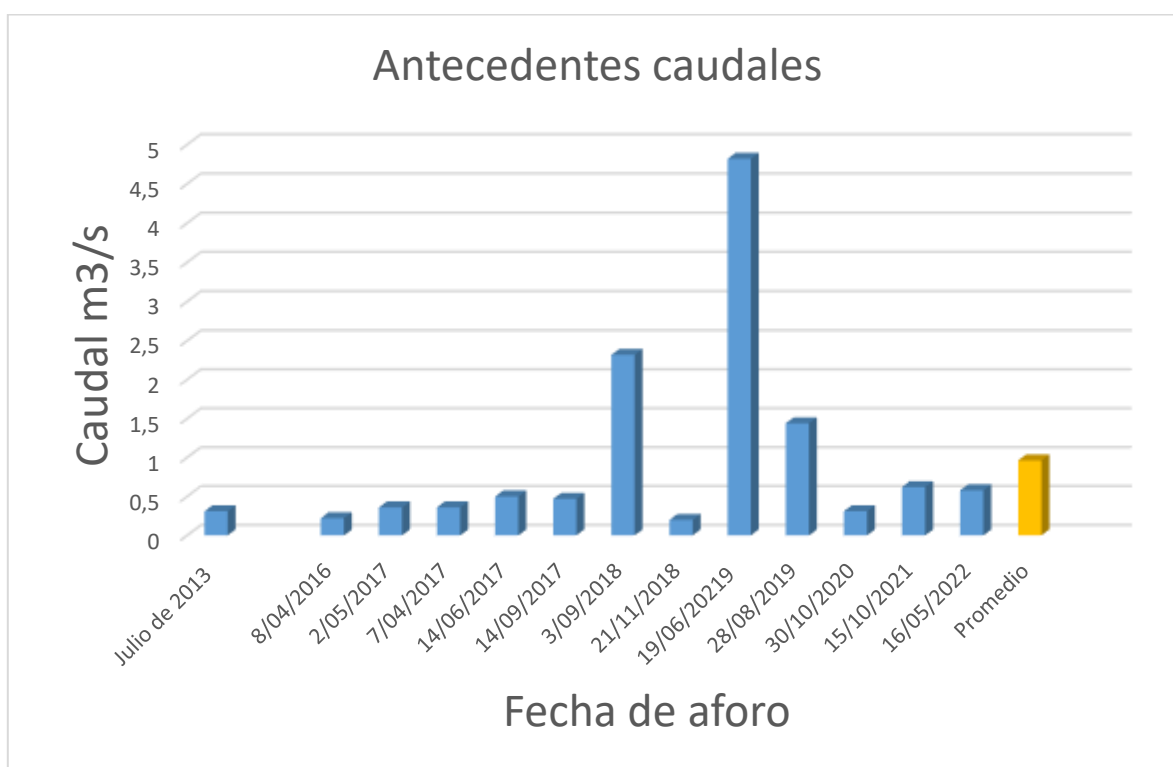
Tabla 16. Caudales periodo húmedo

Tiempo	Fecha	Caudal m3/s	Fuente
Húmedo	Julio de 2013	0.31	Unión Temporal PUEAA Hato Corozal 2013/Soluciones Ambientales
Húmedo	8/04/2016	0.22	Ambitest/EPAHC
Húmedo	2/05/2017	0.36	Ambitest/EPAHC
Húmedo	7/04/2017	0.36	Ambitest/EPAHC

Húmedo	14/06/2017	0.50	Ambitest/EPAHC
Húmedo	14/09/2017	0.47	Ambitest/EPAHC
Húmedo	3/09/2018	2.32	Ambitest/EPAHC
Húmedo	21/11/2018	0.20	Ambitest/EPAHC
Húmedo	19/06/20219	4.82	Ambitest/EPAHC
Húmedo	28/08/2019	1.44	Ambitest/EPAHC
Húmedo	30/10/2020	0.31	Aqualim/EPAHC
Húmedo	15/10/2021	0.62	Aqualim/EPHAC
Húmedo	16/05/2022	0.58	Autor/EPHAC
Promedio		0.96	

Fuente: EPHAC S.A E.S.P.

Ilustración 16. Variabilidad caudales periodos húmedos



Fuente: Autor

En el periodo húmedo el caudal promedio corresponde a 0,96 m³/s, con un caudal máximo de 4,82 m³/s y un caudal mínimo de 0,20 m³/s.

Oferta hídrica neta medida

A continuación, se determina la oferta hídrica neta medida, donde se tuvo en cuenta como caudal medio el promedio de todas las mediciones de caudales tomadas desde el año 2010 y los caudales mínimos el resultado del promedio de la temporada seca y caudales máximos el promedio de caudales del periodo húmedo.

Para obtener la oferta hídrica neta medida, se debe tener en cuenta la reducción por calidad del agua (25%) y la reducción por caudal ecológico (25%) de acuerdo a lo descrito en la resolución N° 865 de 2004; por lo tanto, la oferta hídrica neta medida de la microcuenca se puede expresar como:

$$OHN_{medida} = OH * (0,25CAgua + 0,25Qecologico)$$

$$OHN_{medida}(mínima) = 0,34 \text{ m}^3/\text{s} * (0,50)$$

$$OHN_{medida}(mínima) = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$OHN_{medida}(media) = 0,65 \text{ m}^3/\text{s} * (0,50)$$

$$OHN_{medida}(media) = 0,325 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$OHN_{medida}(máxima) = 0,96 \text{ m}^3/\text{s} * (0,50)$$

$$OHN_{medida}(máxima) = 0,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

La población que se pretende evaluar es del área urbana que consta de 12,497 habitantes (con proyección a 25 años), actualmente la población es de 5787 habitantes, sin embargo, se proyectó teniendo en cuenta las especificaciones del RAS para el nivel de complejidad medio. Realizados los cálculos correspondientes se obtuvo que el caudal medio diario para la población a evaluar es de 27,05 l/s, el caudal máximo diario es de 32,46 l/s y el caudal máximo horario es de 48,69 l/s.

De acuerdo a los antecedentes de los aforos realizados, se tiene que el caudal más bajo reportado corresponde a los meses de febrero de 2014 y enero de 2016 con un valor de 0,18 m³/s. Con este valor se puede concluir que el caño las Guamas-La Toma, presenta una oferta hídrica suficiente para abastecer el acueducto municipal.

Tabla 17. Título II. RAS 2017

CONTENIDO	CAPITULO
Aspectos Generales	C.1
Sistemas De Acueducto	C.2
Sistemas De Potabilización	C.3

Fuente: Resolución 0330/2017 – RAS 2017.

En el Título II, Capítulo 3 se encuentra la información referente al desarrollo de estudios y diseños de los componentes de un sistema de potabilización de agua para la construcción de obras nuevas, o a la rehabilitación, expansión y/u optimización de obras existentes, destinadas a cumplir los requerimientos mínimos de calidad para el agua de consumo suministrada a la comunidad.

Tabla 18. Título II, Cap. 3 RAS 2017

Contenido	Sección
Consideraciones Técnicas Generales De Los Sistemas De Potabilización De Aguas.	S.1
Caracterización Y Tratabilidad Del Agua Cruda	S.2
Tecnologías Y Procesos Unitarios De Tratamiento.	S.3
Gestión De Subproductos De La Potabilización.	S.4

Instalaciones Complementarias Para Sistemas De Potabilización	S.5
Puesta En Marcha, Operación Y Mantenimiento De Sistemas De Potabilización	S.6

Fuente: Resolución 0330/2017 – RAS 2017.

10.5 Descripción De La Infraestructura De La PTAP.

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal, distribuye 1350 m³ /día, a cerca de 1900 suscriptores, captados de la Quebrada Las Guamas, ubicada Este sistema cuenta con la Quebrada Las Guamas como fuente abastecedora, comprende un caudal de 300 L/s en temporada de sequía y alcanza alrededor de los 1200 L/s, en temporada de lluvia, nace a partir de uno de los brazos del río Casanare a unos 311 msnm.

Ilustración 17. Ubicación Espacial Quebrada las Guamas



Fuente: Google Earth Pro.Caudal.

10.6 Descripción General Del Sistema

La planta de tratamiento de agua potable fue diseñada y construida en el año 2009 para un trabajar caudal máximo de 50 L/s, pero por razones operativas la planta se deja trabajando con un caudal de 27 L/s ya que es agua más que suficiente para la población que va a ser servida. La planta es de tipo convencional con procesos de: mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

La PTAP, cuenta con las siguientes estructuras para su buen funcionamiento:

- Bocatoma:

Es la estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto. Se cuenta con una bocatoma de fondo sobre la Quebrada Las Guamas, la cual está ubicada aproximadamente a 6,5 kilómetros de la cabecera municipal. Dicha fuente de abastecimiento nace en la vereda Guayureme y mantiene un caudal constante durante todo el año.

La bocatoma construida en concreto reforzado, dispone de un vertedero de 6,10m de ancho, con una rejilla de 2,38m de largo por 0,4m de ancho con 63 varillas de 5/8" separadas a 0,02m. se diseñó una caja de derivación, la cual almacena el agua que atraviesa la rejilla con un área aproximada de 1,15 m². Esta estructura tiene una tubería de 10" de diámetro para limpieza de sedimentos, la caja cuenta con una tapa circular en concreto de 0,65m de diámetro. De la caja de derivación sale una tubería de 16" de diámetro en PVC hacia el desarenador con una pendiente de 4%.

Ilustración 18. Bocatoma HTZ



Fuente: Autor

- Línea de aducción (bocatoma a desarenador):

La línea de aducción es la que conduce el fluido desde el punto de captación hasta el tanque desarenador. Está constituida por una tubería PVC de 16" con una longitud aproximada de 260m. no presenta fugas en la línea, pero en algunos tramos se encuentra expuesta al ambiente lo cual facilita a su deterioro.

- Desarenador

El sistema de acueducto cuenta con un desarenador longitudinal construido en concreto, el cual se encuentra localizado en las coordenadas 6.17926N, -71.79858W y está provisto de cerramiento perimetral evitando el ingreso de personal no idóneo. El sistema tiene un bafler entre la zona de sedimentación y salida, permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo. Para el control de aguas máximas en la cámara de sedimentación, se cuenta con un tubo de desagüe de 6" en PVC, que conduce nuevamente al cuerpo hídrico, a la salida de la estructura se encuentran con cuatro válvulas de paso, una de ellas permite el transporte de agua hacia la PTAP y los tres restantes permiten la distribución de agua hacia fincas aledañas a la infraestructura. Las dimensiones son

17,23m de largo por 5,6m de ancho y una profundidad de 3 metros. El desarenador dispone de un canal perimetral para aguas lluvias en concreto de 0,3m de ancho por 0,25m de altura.

Ilustración 19. Desarenador HTZ



Fuente: Autor

- Línea de Aducción

Se cuenta con una tubería PVC de 16" desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, con una distancia aproximada de 650m. en todo el trayecto recorre varios terrenos de cultivo y su profundidad oscila entre los 0.85 m y 2 m.

- Planta de potabilización

Esta generaliza varias estructuras que conforman la PTAP, las cuales se describen posteriormente. La PTAP es una estructura relativamente nueva (2010), construida en su totalidad en concreto, con accesorios en acero y fibra de vidrio. La PTAP cuenta con procesos de remoción de material suspendido y sedimentable, como desarenador, floculación y filtración; con procesos de desinfección, almacenamiento y medición de caudal, pH y cloro residual.

Cuenta con personal calificado para operar la planta, en la cual realizan las diferentes actividades propias de mantenimiento, laboratorios, registros, control de calidad del agua, todos los días, para mantener un buen funcionamiento de la misma.

Ilustración 20. PTAP Hato Corozal



Fuente: Autor

- Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

En la operación de los procesos de coagulación existen tres componentes esenciales:

- selección de los coagulantes
- aplicación de los coagulantes
- control de la efectividad de los procesos.

El operador, con base en las características de temperatura, pH, alcalinidad, turbiedad y color del agua cruda, evalúa mediante el ensayo de jarras la cantidad de coagulante por usar y la dosis óptima. La aplicación se efectúa mediante el ajuste manual y automático del sistema de dosificación a la tasa óptima finalmente efectúa el control de efectividad de los

procesos de coagulación y floculación principalmente a través de la evaluación de: características de floc formado, turbiedad del agua sedimentada, frecuencia de lavado de los filtros.

Además, cuenta con una cámara de aquietamiento que recibe el flujo de la tubería y lo distribuye al canal de acceso a la canaleta parshall y al punto de mezcla rápida de una manera apropiada.

Ilustración 21. Canaleta Parshall



Fuente: Autor

- Floculación

La PTAP cuenta 2 Floculadores, cada unidad cuenta con 9 cámaras de floculación, permite la formación de flocs, dándoles un mejor tamaño y peso específico de acuerdo a las dosificaciones de los productos químicos que se han aplicado en la canaleta parshall, en este tipo de floculador el agua pasa por varios compartimientos de forma ascendente, descendente reduciendo la velocidad del agua, hasta llegar a la cámara de sedimentación, cuenta con un tiempo de retención hidráulico de 30 minutos en su caudal máximo. Cuenta con los siguientes elementos:

- Compuerta No. 1 para control de caudal

- Compuerta No. 2 para control de caudal
- Válvulas No. 1,2,3,4,5,6 de 4" para drenaje de lodos

Ilustración 22. Cámaras de Floculación



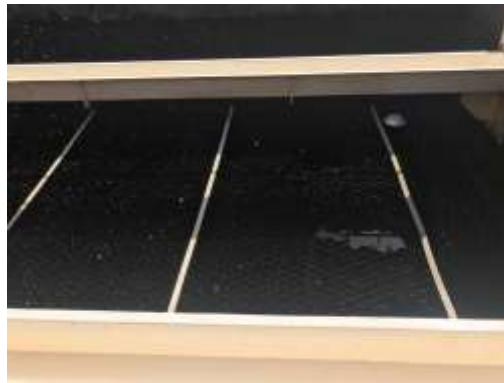
Fuente: Autor

- Sedimentación

Se diseñó de tipo acelerado con paneles de sedimentación hexagonales, cuentan con dos unidades de 25 l/s, cada una están en concordancia con las dos Floculadores. Se adoptan paneles de sedimentación tipo colmena conformados por ductos hexagonales de 0,06m de separación laminar y altura de 1 m. El factor de eficiencia para ductos hexagonales es igual a 1. Comercialmente los paneles de sedimentación poseen 259,61 canales por metro cuadrado. Se adopta un área cubierta por paneles de sedimentación de 15,32 m². Cuentan con los siguientes elementos:

- Panel de sedimentación tipo colmena
- Canales de recolección de agua clarificada en fibra de vidrio
- Válvulas No. 1,2,3,4 de 6" para drenaje de lodos

Ilustración 23. Paneles de Sedimentación



Fuente: Autor

- Filtración

El agua proveniente de las cámaras de sedimentación llega a una cámara de aquietamiento que reparte el flujo de agua a las seis unidades de filtración. Se filtra el agua para eliminar el material microparticulado que no fue eliminado en las secciones anteriores, estos filtros son conformados por una sección de piedras, arena y carbón activado (antracita) y se realiza una limpieza de flujo ascendente. Se cuenta con los siguientes elementos:

- Compuertas No. 1,2,3,4,5,6 de entrada a los filtros
- Compuertas No. 1,2,3,4,5,6 de salida de los filtros
- Válvulas No. 1,2,3,4,5,6 de 12" para retro lavado de los filtros
- Válvulas No. 1,2,3,4,5,6 de 4" para drenaje de los filtros

Ilustración 24. Módulos de Filtración



Fuente: Autor

- Desinfección

Proceso mediante el cual se desinfecta el agua y posteriormente que esta sea potable. Desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas al tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse en obstáculos para la acción del agente desinfectante. La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando el agua tiene una turbiedad cercana a la unidad. Por ello es indispensable desplegar los esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes.

La planta cuenta con dos mecanismos de cloración: cloración gaseoso y granulado.

Ilustración 25. Proceso de Cloración



Fuente: Autor

- Almacenamiento

este almacena el agua durante la noche y en las horas de menor consumo, por lo cual su volumen depende del tamaño de la población, el tanque de almacenamiento es útil para compensar las variaciones de consumo en el día, mantener y compensar las presiones en la red, así como para almacenar cierta cantidad de agua que permita atender situaciones de emergencia o interrupciones provocadas por daños del acueducto; el acueducto del municipio de Hato Corozal cuenta con un tanque con una capacidad de almacenamiento de 1350 m³.

Ilustración 26. Tanque de Almacenamiento



Fuente: Autor

11. Diagnóstico De La Planta De Tratamiento

El diagnóstico hidráulico y operacional de la PTAP del municipio de Hato Corozal se realizó con base en los parámetros de diseño y operación establecidos en la Resolución 0330 de 2017 y con las características del agua potable establecidas en la Resolución 2115 de 2007. La presente información fue recopilada de los archivos de Las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” y por mediciones realizadas como parte de este proyecto.

Una vez analizada la fase preliminar se procedió a su interpretación, de tal forma que se obtuvo una perspectiva clara sobre las fortalezas y debilidades encontradas en la PTAP. Cuantificando las variables de estudio fue posible evaluar el estado de las mismas y priorizar aquellos aspectos que requieran una intervención.

El diagnóstico realizado, incluyendo los valores (puntajes) establecidos en las tablas, que se presentan a continuación, es elaborado por el autor del proyecto, como un mecanismo que permite calificar el estado actual de la infraestructura y procesos existentes en la PTAP del municipio de Hato Corozal Casanare. Dentro de las infraestructuras y procesos encontramos desglosado cada parte funcional de cada una de ellas, las cuales permiten desarrollar un diagnóstico meticuloso de cada una de las infraestructuras presentes en la PTAP y de los procesos que se desarrollan para llevar a cabo el proceso de tratamiento de agua.

Tabla 19. Variables

Nº	Infraestructura Presente	Proceso
1	Bocatoma	Captación

2	Tuberías Y Accesorios	Aducción, Conducción Y Distribución
3	Desarenador	Des arenación
4	Cámara De Aquietamiento	Disipar Energía
5	Mezcla Rápida (Canaleta Parshall)	Medición, Coagulación Y Ajuste De PH
6	Floculadores	Floculación
7	Sedimentadores	Sedimentación
8	Filtros	Filtración
9	Tanque De Cloración	Desinfección
10	Tanque De Almacenamiento	Almacenamiento De Agua Potable
11	Lechos De Secado	Tratamiento De Lodos

Fuente: Autor

Cada parte de las infraestructuras presentes en la PTAP del municipio, serán diagnosticadas globalmente (la infraestructura y el procedimiento que se desarrolla en la misma), y se tendrá en consideración el análisis previo de las mismas para determinarle una de las siguientes condiciones presentadas a continuación:

Condición 1. La infraestructura está en óptimas condiciones y el o los procesos se ejecutan de manera eficiente. Este diagnóstico le corresponde a las infraestructuras que no presentan daños por fisuras, corrosión, erosión, oxidación, fugas, desgastes y deformaciones; de la misma manera corresponde a este diagnóstico los procedimientos que cumplen con los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007, y que brindan las condiciones necesarias para que el agua sea tratada de forma adecuada en los posteriores procesos.

Condición 2. La infraestructura no está en óptimas condiciones, pero el o los procesos se ejecutan de manera eficiente. Este diagnóstico le corresponde a las infraestructuras que presentan daños por fisuras, corrosión, erosión, oxidación, fugas, desgastes y deformaciones;

de la misma manera corresponde a este diagnóstico los procedimientos que cumplen con los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007, y que brindan las condiciones necesarias para que el agua sea tratada de forma adecuada en los posteriores procesos.

Condición 3. La infraestructura está en óptimas condiciones, pero el o los procesos no se ejecutan de manera eficiente. Este diagnóstico le corresponde a las infraestructuras que no presentan daños por fisuras, corrosión, erosión, oxidación, fugas, desgastes y deformaciones; de la misma manera corresponde a este diagnóstico los procedimientos que no cumplen con los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007, y que no brindan las condiciones necesarias para que el agua sea tratada de forma adecuada en los posteriores procesos.

Condición 4. La infraestructura no está en óptimas condiciones, y el o los procesos no se ejecutan de manera eficiente. Este diagnóstico le corresponde a las infraestructuras que presentan daños por fisuras, corrosión, erosión, oxidación, fugas, desgastes y deformaciones; de la misma manera corresponde a este diagnóstico los procedimientos que no cumplen con los valores establecidos en la resolución 2115 de 2007, y que no brindan las condiciones necesarias para que el agua sea tratada de forma adecuada en los posteriores procesos.

Una vez que se estableció las condiciones que se pueden llegar a presentar en la planta, se le asignó un valor numérico a cada una de ellas, lo que permitirá cuantificar el estado de las partes de manera física y funcionalmente en paralelo, todo esto con el fin de desarrollar un diagnóstico general de las infraestructuras y procedimientos expresándolos en términos de eficiencia. Los valores establecidos para cada condición son los siguientes:

Tabla 20. Valores para la evaluación del diagnóstico

Diagnostico	Valor
Condición 1	4
Condición 2	3

Condición 3	2
Condición 4	1

Fuente: Autor

- Determinación de la eficiencia general de las infraestructuras presentes y procedimientos.

La sumatoria de los valores de las condiciones para cada parte funcional, que combina una estructura y el proceso desarrollado en la misma; permite evaluar la eficiencia general las variables infraestructura y proceso. Sabiendo que el máximo valor total de diagnóstico es 44 (número obtenido al multiplicar (11) cantidad de procesos que se desarrollan para el tratamiento de agua, por (4) el máximo valor designado para cada condición presentada), la eficiencia general se determinara así:

Se establece una relación de proporcionalidad tomando el valor de 44 como 100% de eficiencia.

Ilustración 27. Variable Valor de eficiencia General



Fuente: Autor

Se determina el valor total del diagnóstico tomando a **VT** como la variable para hallar el valor de la eficiencia general en porcentaje.

$$\text{Valor de la eficiencia general} = \frac{VT * 100\%}{44}$$

- Determinación del estado de las infraestructuras presentes

Sabiendo que las infraestructuras presentes en la PTAP son 11, la condición de esta se determina según los 11 diagnósticos correspondientes a cada estructura de la siguiente manera: Se suman cuantas de las 11 infraestructuras presentes se encuentran en óptimas condiciones y se establece una relación de proporcionalidad tomando el valor de 11 como 100% de estructuras en óptimas condiciones.

Ilustración 28. Variable Porcentaje de infraestructura en óptimas condiciones



Fuente: Autor

Se determina el porcentaje de infraestructuras que se encuentra en óptimas condiciones tomando a N como la variable para hallar el porcentaje de infraestructuras que se encuentran en óptimas condiciones.

$$\% \text{infraestructuras en óptimas condiciones} = \frac{N * 100\%}{11}$$

- Determinación de la eficiencia de los procedimientos.

Sabiendo que las infraestructuras presentes en la PTAP son 11, la condición de esta se determina según los 11 diagnósticos correspondientes a cada estructura de la siguiente manera: Se suman cuantas de las 11 infraestructuras presentes se desarrollan eficientemente

los procedimientos y se establece una relación de proporcionalidad tomando el valor de 11 como 100% de estructuras en óptimas condiciones.

Ilustración 29. Variable Eficiencia de Procesos



Fuente: Autor

Se determina el porcentaje de infraestructuras que tomando a **V** como la variable para hallar el porcentaje de infraestructuras que se encuentran en óptimas condiciones.

$$\%eficiencia\ de\ procesos = \frac{V * 100\%}{11}$$

11.1 Análisis De La Estructura De La PTAP

- Bocatoma: La estructura no presenta daños que alteren su funcionamiento, la tapa que resguarda la caja de salida presenta oxidación, pero no en mayor grado, no se observan grietas en concreto, la rejilla presenta oxidación, las válvulas presentan oxidación de alto nivel, que dificulta la maniobra de la misma por parte de los operadores de la planta.
- Línea de aducción: La mayor parte de la tubería se encuentra enterrada y se dificulta el análisis por su respectiva condición, sin embargo, no se presenta Empozamiento de agua en el suelo con la que se pueda identificar fugaz de la misma tubería. La tubería

que se encuentra expuesta al realizarse la entrada al desarenador, en su válvula presenta oxidación y corrosión, impidiendo la maniobra de la misma a la hora de abrir o cerrar.

- Desarenador: Esta estructura no tiene afectaciones identificadas, no hay evidencias claras de grietas. Se identifica un desgaste en las paredes internas del desarenador, las tapas que recubren la estructura no presentan daños o alteraciones.
- Línea de conducción: A la salida del desarenador se evidencia tubería oxidada y levemente corroída, el enterramiento de la tubería impide el análisis, pero no se encuentran empozamiento que estén asociados a fugas de la tubería, los accesorios como la válvula de entrada de la PTAP se encuentra oxidada dificultando el manejo de la misma.
- Cámara de aquietamiento: a la entrada del sistema de potabilización se encuentra una compuerta oxidada y levemente corroída, donde el tornillo que la levanta ya ha sido soldado, pero dificulta la maniobra de los operadores.
- Canaleta parshall: Presenta impurezas en sus paredes externas debido al reboce del agua mezclada con el coagulante (sulfato de aluminio tipo A) y un desgaste en el fondo a la salida donde se produce el resalo hidráulico.
- Floculadores: Presenta erosión en sus paredes externas debido al reboce del agua mezclada con el coagulante (sulfato de aluminio tipo A).
- Sedimentadores: Presenta erosión en sus paredes externas debido al reboce del agua mezclada con el coagulante (sulfato de aluminio tipo A), los paneles de sedimentación en algunas secciones se encuentran en mal estado (rotos o hundidos), las canaletas de fibra de vidrio ya presentan desgaste y corrosión en sus bordes.
- Filtros de arena: Los lechos filtrantes se encuentran desgastados debido a los retro lavados realizados para el mantenimiento diario. Las paredes externas del filtro se

encuentran erosionadas debido al reboce que se presenta en esta estructura; además las tuberías de desagüe, de lavado y las demás del sistema se encuentran oxidadas y corroídas, tanto así que las llaves y válvulas no son de fácil manipulación, generando golpe de ariete.

- Tanque de cloración: Presenta deterioro en sus paredes externas por acción del tiempo de uso, en el interior del tanque no se evidencia deterioros significativos.
- Tanque de almacenamiento: El tanque de almacenamiento no se encuentra con grietas y sin fugas, las tapas se encuentran con leve oxidación, pero en sus cajas, donde encuentran la válvula y la ventosa presenta corrosión impidiendo la buena operación de la misma, además el macro medidor de salida se encuentra dañado por que nunca se le realizó mantenimiento.
- Lechos de secado: la estructura se encuentra en buen estado, pero las válvulas presentan una leve corrosión.

11.2 Análisis De Los Procesos Presentes En La PTAP.

- Captación: Este proceso se realiza sin contraindicaciones, mediante la implementación de una rejilla en la bocatoma de captación.
- Aducción, conducción y Distribución: estos procesos funcionan sin contradicciones.
- Desarenación: Este proceso funciona sin contraindicaciones en época de pocas precipitaciones debido al buen estado de la fuente abastecedora; sin embargo, este proceso se ve afectado en época de lluvias debido a la saturación del desarenador por la gran carga adicional de sólidos en el agua de la fuente abastecedora. La erosión presente en el desarenador no afecta este proceso, ya que el mantenimiento y limpieza del mismo mitigan su efecto en el desarrollo del proceso.

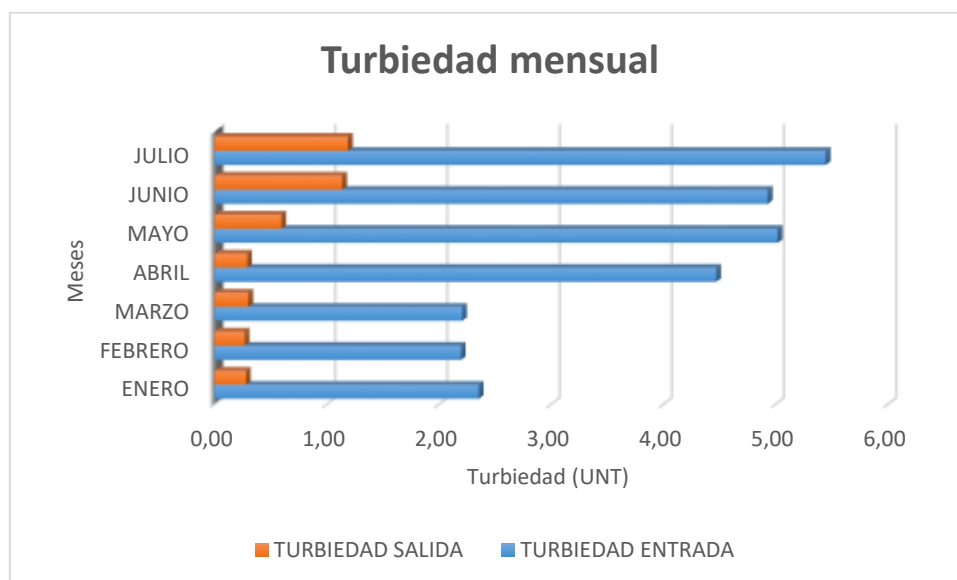
- Disipador de energía: la cámara de aquietamiento cumple muy bien su función, logrando disipar la energía que trae el agua de la línea de conducción.
- Medición, Coagulación Y Ajuste De PH: La adición de coagulante y neutralizante obedece a la implementación del Test de Jarras que es el método implementado para determinar la dosis óptima de los insumos que se debe aplicar al agua cruda en una PTAP para asegurar la mejor reducción de los coloides en suspensión y de materia orgánica. Le hace falta de un macro medidor en las instalaciones de la PTAP porque impide que el operador conozca en tiempo real la cantidad de caudal (Q) que ingresa a la planta debido a que la medición se realiza visualmente por el operador por medio de una reglilla que está en la entrada de la canaleta lo que conlleva a que el dato del caudal que entra a la planta no sea exacto.
- Floculación: Este proceso se realiza sin contraindicaciones
- Sedimentación: el panel de sedimentación al presentar suciedad pegada hace que se a colmaten más rápido del tiempo en que debería hacerlo lo cual genera que la turbiedad de del agua tratada este en los límites permisibles por los valores que arroja el IRCA.
- Filtración: Se realiza sin contraindicaciones a pesar del poco mantenimiento y la mala distribución de los lechos filtrantes ya que se encuentren semi combinados.
- Desinfección: Se realiza sin contraindicaciones cuando el cloro que se aplica es gaseoso; se evidencia un adecuado cumplimiento al parámetro de Cloro Residual según las pruebas realizadas por el IRCA según la RES. 2125 de 2007. Cuando el cloro que se aplica es granular, se aplica de manera empírica, conllevando a que en algunos meses el valor de cloro residual no esté dentro de los valores permisibles por la RES. 2115 de 2007.
- Almacenamiento de agua potable: Este proceso se realiza sin contraindicaciones

- Tratamiento de lodos: Este proceso se realiza sin contraindicaciones

Los datos proporcionados a continuación son tomados con el equipo de medición de turbiedad (turbidímetro), facilitado por el operario. Se realizaron dos muestreos, la toma inicial (Ti) se realiza a la entrada de la PTAP y la toma final (Tf) se realiza a la salida del tanque de almacenamiento.

Con los datos de operación diaria llenada por los operarios para tratar el agua para suministrarlo al municipio, se generó una gráfica donde muestra el valor de turbiedad promedio que entra y sale de la PTAP para cada uno de los meses estudiados.

Ilustración 30. Gráfica de turbiedad mensual



Fuente: Autor

A continuación, se muestra el porcentaje de remoción de turbiedad para cada uno de los meses analizados.

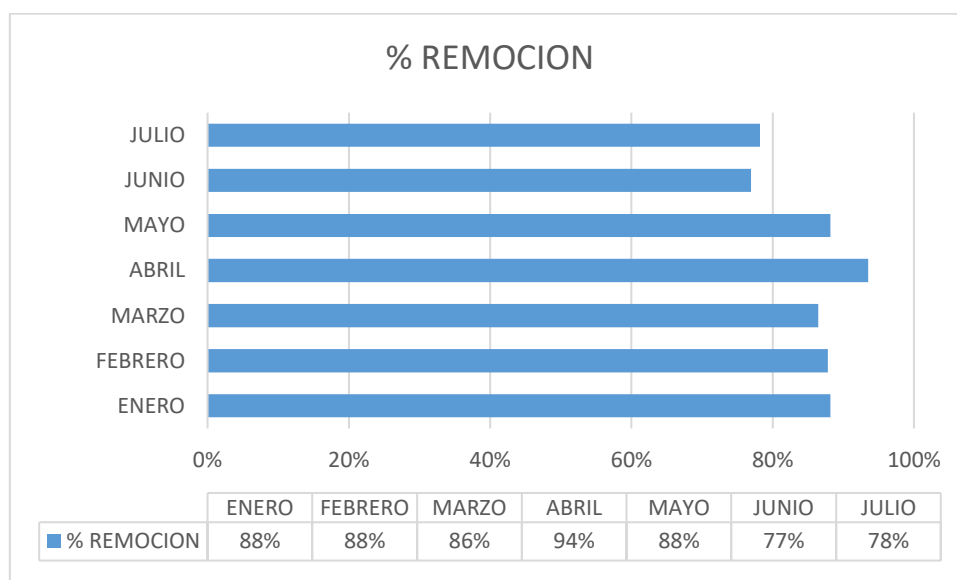
Tabla 21. Análisis de Turbiedad Mensual

Mes	Turbiedad Entrada	Turbiedad Salida	% Remoción
Enero	2,35	0,28	88%

Febrero	2,19	0,27	88%
Marzo	2,21	0,30	86%
Abril	4,47	0,29	94%
Mayo	5,02	0,59	88%
Junio	4,93	1,14	77%
Julio	5,45	1,19	78%

Fuente: Autor

Ilustración 31. Gráfica porcentaje de remoción mensual



Fuente: Autor

Ilustración 32. IRCA mensual municipio Hato Corozal

 INFORME DE RESULTADOS DEL IRCA MENSUAL POR MUNICIPIO (Decreto 1575/2007)																	
Año	Código Dpto.	Departamento	Código Mpio.	Municipio	Mes	Muestras analizadas en el municipio	Promedio de parámetros analizados en el municipio	IRCA municipal	Nivel riesgo municipal	Muestras analizadas área urbana	Promedio de parámetros analizados área urbana	IRCA municipal área urbana	Nivel riesgo área urbana	Muestras analizadas área rural	Promedio de parámetros analizados área rural	IRCA municipal área rural	Nivel riesgo área rural
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	ENERO	1	8	0	Sin Riesgo	1	8	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	FEBRERO	1	9	0	Sin Riesgo	1	9	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	MARZO	1	8	0	Sin Riesgo	1	8	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	ABRIL	1	8	18,8679	Riesgo Medio	1	8	18,8679	Riesgo Medio				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	MAYO	1	8	0	Sin Riesgo	1	8	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	JUNIO	1	8	31,2883	Riesgo Medio	1	8	31,2883	Riesgo Medio				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	JULIO	1	7	0	Sin Riesgo	1	7	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	AGOSTO	1	9	0	Sin Riesgo	1	9	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	SEPTIEMBRE	1	8	0	Sin Riesgo	1	8	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	OCTUBRE	1	8	0	Sin Riesgo	1	8	0	Sin Riesgo				
2022	85	CASANARE	85125	HATO COROZAL	NOVIEMBRE	1	7	0	Sin Riesgo	1	7	0	Sin Riesgo				

Fuente: I.N.S. IRCA mensual municipio de Haro Corozal

11.3 Determinación De La Eficiencia General De Las Infraestructuras Presentes Y Procedimientos.

Tabla 22. Eficiencia general de las variables

Nº	Infraestructura Presente Y Procesos	Condición	Valor
1	Bocatoma - Captación	2	3
2	Tuberías Y Accesorios - Aducción, Conducción Y Distribución	2	3
3	Desarenador - Des Arenación	3	2
4	Cámara De Aquietamiento - Disipar Energía	2	3

5	Mezcla Rápida (Canaleta Parshall) - Medición, Coagulación Y Ajuste De Ph	2	3
6	Floculadores - Floculación	1	4
7	Sedimentadores - Sedimentación	2	3
8	Filtros - Filtración	2	3
9	Tanque De Cloración - Desinfección	3	2
10	Tanque De Almacenamiento - Almacenamiento De Agua Potable	2	3
11	Lechos De Secado - Tratamiento De Lodos	1	4
Valor Total Del Diagnostico			33

Fuente: Autor

➤ Datos:

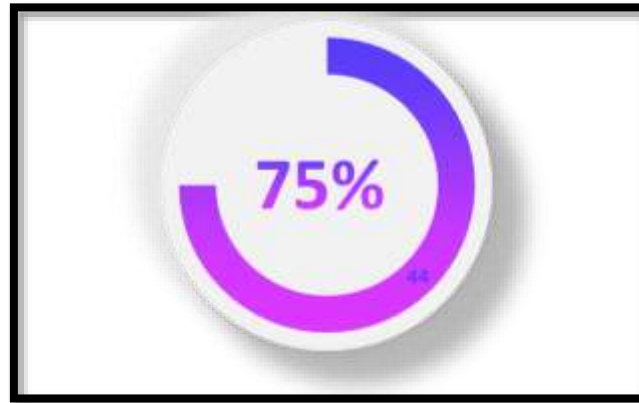
Valor total del diagnóstico: 33

$$\text{Valor de la eficiencia general} = \frac{VT * 100\%}{44}$$

$$\text{Valor de la eficiencia general} = \frac{33 * 100\%}{44} = 75\%$$

- 75% de eficiencia general de la infraestructura presente y sus procedimientos.

Ilustración 33. Valor de eficiencia general



Fuente: Autor

Determinación del estado de las infraestructuras presentes:

➤ Datos:

Número de la cantidad de estructuras que se encuentran en óptimas condiciones: 4

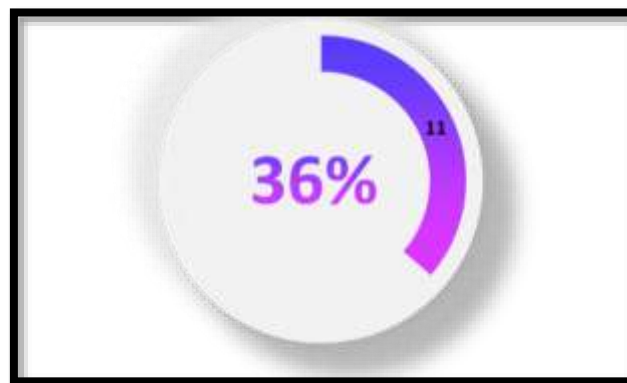
(Desarenador, Floculador, Tanque de cloración y Lechos de secado).

$$\% \text{infraestructuras en óptimas condiciones} = \frac{N * 100\%}{11}$$

$$\% \text{infraestructuras en óptimas condiciones} = \frac{4 * 100\%}{11} = 36,36\%$$

- 36,36% de la infraestructura presente se encuentra en óptimas condiciones

Ilustración 34. Valor infraestructura en óptimas condiciones



Fuente: Autor

100% -36,36% = 63,64% de infraestructura operativa cuenta con problemas de deterioro.

la infraestructura presente en la PTAP del acueducto del municipio de Hato Corozal - Casanare presenta problemas estructurales o deterioro, representados en un 63,64 % de infraestructura operativa con problemas de deterioro principalmente por corrosión, erosión, oxidación, fugas, desgastes entre otras. Las infraestructuras que representan este 63,64 % son las siguientes: Bocatoma, Tuberías Y Accesorios, Cámara De Aquietamiento, Mezcla Rápida (Canaleta Parshall), Sedimentadores, Filtros, Tanque De Almacenamiento.

11.4 Determinación De La Eficiencia De Los Procedimientos.

➤ Datos:

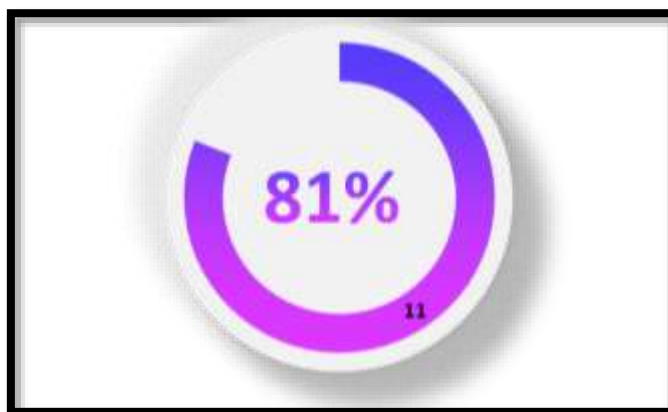
Número de la cantidad de procedimientos que se ejecutan óptimamente: 9 (Bocatoma, Tuberías Y Accesorios, Cámara De Aquietamiento, Mezcla Rápida (Canaleta Parshall), Floculadores, Sedimentadores, Filtros, Tanque De Almacenamiento y Lechos de secado.

$$\%eficiencia\ de\ procesos = \frac{V * 100\%}{11}$$

$$\%eficiencia\ de\ procesos = \frac{9 * 100\%}{11} = 81,81\%$$

- 81,81% de los procesos se realizan de manera óptima.

Ilustración 35. Valor eficiencia de los procesos



Fuente: Autor

$100\% - 81,81\% = 18,19\%$ de los procesos no se desarrollan eficientemente.

Los procesos que se desarrollan en la PTAP del acueducto del municipio de Hato Corozal - Casanare presenta problemas relacionados con falencias operativas, representados en un 18,19 % de procesos cuya función no refleja cumplimiento con los valores condicionados en la resolución 2115 de 2007, también aquellos procesos que no brindan las condiciones necesarias para que el agua sea tratada en los procesos posteriores sin la afectación de los mismos. Los procesos que representan este 18,19 % son las siguientes: Desarenación y la Desinfección.

11.5 Diagnostico General De Funcionamiento De La PTAP

La PTAP del acueducto de Hato Corozal, opera en la actualidad a un 75% de eficiencia, representando falencias estructurales en un 63,64 % de sus estructuras; como también en un 18,19 % de sus procesos.

Ya habiendo identificado las falencias existentes, tanto en las estructuras como procesos del acueducto del municipio de Hato Corozal, nos centramos en la elaboración de las alternativas de solución que beneficien el rendimiento de las estructuras y procesos analizados anteriormente, en este apartado identificaremos cada uno de los daños realizando una priorización de los mismos, presentando propuestas y/o alternativas de solución.

✓ Corrosión en válvulas, accesorios y tuberías de acero.

La corrosión es el deterioro de un material por causas diversas, como el contacto de agua, de reactivos químicos, del aire, etc. Este deterioro causa el desgaste del grosor del material y taponamiento en casos avanzados en tuberías, ocasionando no solo el daño en la tubería, si no la contaminación del agua; las tuberías con mayor afectación son las instaladas en la planta de tratamiento, puesto que como se explicaba anteriormente, el rebose de los tanques ha creado apozamiento de agua mezclada con sulfato de aluminio, soda cáustica y

cloro, las cuales aceleran el proceso de corrosión y deterioro de las mismas. En válvulas ocasiona la pérdida de maniobra de la misma, por corrosión en las partes giratorias, que impiden manipular de manera adecuada la válvula, ocasionando golpes de ariete, que pueden romper la tubería en algún punto por presión del agua.

Solución:

1. Pintura inhibidora de corrosión leve.

Existen variedades de pinturas que cumplen con la función de proteger el material contra elementos corrosivos, estas pinturas son fluidos viscosos que actúan como película protectora sobre el material recubriéndola de agente químico y/o biológico, (como el agua, aire, soda caustica, sulfato de aluminio, cloro, etc.), que puedan alterar su vida útil, más sin embargo estas pinturas, son eficientes para la detención de la corrosión cuando esta es leve, es decir, cuando tiene indicios de corrosión. Su modo de uso se basa en limpiar las zonas afectadas con lija y agua, retirando la mayoría de partículas que se pueda para poder aplicarla. Esta solución se da a corto plazo, puesto que los agentes corrosivos, tardaran un poco más en corroer el material por la capa que brinda la pintura, por esto es recomendable que, al aplicar la pintura inhibidora, también se controle el agente corrosivo, es decir, los apozamiento de agua.

2. Cambio de tubería y válvulas con corrosión moderada.

Después de haber sido expuesta de forma prolongada una tubería y/o válvula a agentes como el aire, agua, y químicos, entre otros, utilizar la solución anteriormente explicada, sería perjudicial para el líquido que en este caso transcurre dentro de la tubería y/o válvula, puesto que a mayor grado de corrosión el grosor del material se hace más débil y por ende más frágil, formando fisuras en este mismo, que al aplicar una pintura inhibidora seria contaminación del agua, y además no taponaría las fisuras provocadas por la corrosión, por esto es aconsejable el cambio de tuberías y/o válvula y la aplicación de la primera solución

(pintura inhibidora de corrosión), para ampliar la vida útil de la misma, así mismo el control de agente corrosivos, apozamiento de agua por rebose, el manejo de químicos.

✓ Tornillo Cámara de aquietamiento.

a la entrada del sistema de potabilización se encuentra una compuerta, donde el tornillo que la levanta ya ha sido soldado, pero dificulta la maniobra de los operadores debido a que el mantenimiento fue realizado de manera inadecuada.

Solución:

1. Cortar el tornillo justo donde se había soldado, colocarlo de manera recta de la compuerta a la llave y soldarla nuevamente.
2. Comprar el tornillo sin fin de 1 pulgada, y cambiar la pieza completamente de la compuerta de la cámara de aquietamiento.

✓ Procesos alterados por suciedad, módulos de sedimentación tipo panal y cámaras de filtración.

Estos procesos son de vital importancia para la remoción de partículas coloidales, y por ende su mantenimiento y limpieza son importantes, para ello, se sugiere el uso de retro lavados por inyección del agua almacenada en el tanque, ambos de tipo descendente, que permitan el desprendimiento de agentes externos que provoquen contaminación de la misma, el implicar mantenimiento manual por parte del operador, puede llevar a rompimiento en caso de los módulos de sedimentación y a la mezcla de los componentes del filtro.

Solución:

1. Las soluciones propuestas para estos procesos son la limpieza óptima de manera mecánica, permitiendo que la presión del agua inyectada realice su labor, por esto y contando que la planta de tratamiento no utiliza en ninguna medida electricidad para la operación.

✓ Lechos filtrantes

Los filtros lentos son entonces uno de los procesos de tratamiento de agua más económico y efectivo en poblaciones que carecen de agua potable, ya que permiten ser operados por mano de obra poco calificada y materiales locales para su construcción, sin embargo, pierde productividad durante los períodos de maduración del filtro, la alta turbidez (> 30 NTU) hace que el filtro se obstruya y requiera mayor mantenimiento. Estos y demás factores han llevado a que los lechos filtrantes estén colapsados y que en las horas pico de producción de agua potable el proceso se desarrolle lentamente.

Solución:

1. Realizar retro lavados de los filtros 1 vez al día
2. Realizar el cambio de los lechos filtrantes (arenas, gravas, gravilla y antracita)

✓ Medición de caudal

La medición de caudal es el proceso de medir los fluidos de su planta o industria. Se puede medir el caudal con una variedad de dispositivos diferentes; la planta de tratamiento mide el caudal por medio de la reglilla de la canaleta parshall, pero este sistema de medición tiene cierta imprecisión y los valores de agua tratada no son exactos debido a las variaciones en la lámina del agua y que el dato es analizado visualmente por el operador.

Solución:

1. Comprar un Macro medidor de 16 pulgadas para instalarlo a la salida de la planta de tratamiento de agua potable del municipio para así determinar con más exactitud la cantidad de agua que se potabiliza y calcular pérdidas en el sistema.

✓ Dosificación del desinfectante con Cloro granulado.

Uno de los procesos que se realizan en la planta de tratamiento del municipio es la desinfección del agua con cloro, ya sea de tipo gaseoso o granulado, el tipo de cloro principal que se usa para este proceso es el gaseoso debido a su fácil manejo, control y su economía a largo plazo, sin embargo, en la planta no se está exento de que este método pueda presentar

fallas en sus equipos de dosificación y se tenga que utilizar el cloro granulado. La dosificación del cloro granulado los operadores la realizan empíricamente monitoreando el nivel de cloro residual en el tanque sin una manera exacta de aplicarlo.

Solución:

1. realizar pruebas de laboratorio para conocer cuántos kilogramos de cloro granulado se deben aplicar para un tanque de 1000 litros con agua y aforar según la ecuación escrita en el manual actualizado de operación y mantenimiento de la PTAP que se encuentra en el anexo G.

12. Socialización

En presencia de la gerente de la empresa, la ingeniera Jefe del Área de Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo, junto con el personal operativo de la planta de tratamiento de agua potable PTAP, se llevó cabo la Socialización de la actualización del manual de la planta de tratamiento de agua potable. Con la actualización del manual se logró complementar la información del manual ya existente, lo cual mejorará la operatividad, así como acciones de mejora en infraestructuras, procedimientos, ideas en operatividad, métodos y maneras adecuadas de dosificación, mantenimientos correctivos y preventivos de máquinas y equipos de la planta de tratamiento, tomas de muestra de agua, calibración de equipos y demás conceptos para un óptimo desarrollo de actividades.

De este modo se cumplió con lo planteado, que era la actualización del manual, logrando que con esta nueva información la planta cumplirá a cabalidad los procedimientos con respecto a su diseño y los operadores podrán contar con más herramientas para su desempeño.

Ilustración 36. Socialización del Manual Actualizado



Fuente: Autor

Ilustración 37. Socialización del Manual Actualizado



Fuente: Autor

La lista de asistencia se encuentra se encuentra adjunta en el anexo H.

13. Cronograma

Tabla 23. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDAD	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) Inducción de la planta de tratamiento (PTAP)	X	X														
2) Búsqueda y análisis de la información acerca de las especificaciones técnicas operativas y mantenimiento			X	X	X	X	X									
3) Diagnostico general de la planta de tratamiento de agua potable			X	X	X	X	X	X	X	X						
4) Desarrollo de nuevos formato de (seguimiento y control de insumos)			X	X	X	X										
5) Análisis a partir del diagnóstico realizado en la planta				X	X	X	X	X	X	X	X					
6) desarrollar el manual de la PTAP actualizado								X	X	X	X					
7) Socialización del manual de operación y mantenimiento actualizado												X	X			
8) Entrega de proyecto final			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Autor

Descripción de actividades: (Lista de tareas)

1) Inducción de la planta de tratamiento (PTAP)

Inspeccionar visualmente las estructuras, verificando los componentes de la planta (procesos implementados para la potabilización), funcionamiento de los mismos, solicitud de información como planos, caudal captado y dosificaciones de químicos aplicados.

2) Búsqueda y análisis de la información acerca de las especificaciones técnicas operativas y mantenimiento

Solicitud de información existente sobre la PTAP del municipio de Hato Corozal - Casanare e identificar el diseño actual que tiene la planta con la información que se recolectará de la CAR y en la planta de tratamiento.

3) Diagnostico general de la planta de tratamiento de agua potable

se observará el funcionamiento de cada uno de los componentes de la planta para verificar si funciona adecuadamente o si presenta falencias.

Recoger muestras, realizar ensayos y tomar resultados del laboratorio.

4) Desarrollo de nuevos formatos de (seguimiento y control de insumos)

Crear un nuevo formato de control de las actividades ejecutadas por los operarios, suministros e insumos utilizados y los resultados de las pruebas realizadas en campo.

5) Análisis a partir del diagnóstico realizado en la planta

se realizará análisis los datos obtenidos en el diagnóstico, estableciendo las mejoras en los procedimientos que se ejecutan en el sistema.

6) Socialización del manual de operación y mantenimiento actualizado

socializar mediante una capacitación a los operadores y profesionales asociados al Área Operativa el manual actualizado de operación y mantenimiento de la PTAP.

7) Entrega de proyecto final

Entregar de manera escrita y sustentar el proyecto.

14. Recomendaciones

La Alcaldía de Hato Corozal y las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” deben trabajar en conjunto para gestionar ante los entes departamentales y nacionales los recursos necesarios para realizar las intervenciones propuestas para el mejoramiento y mantenimiento de la planta

Se sugiere realizar mantenimiento general a algunas de las unidades actuales, bocatoma, sedimentadores y filtros, realizar un cambio en las bombas dosificadoras, mezcladores y dotar a la planta de los equipos de laboratorio para control de procesos. Se recomienda la construcción de una nueva canaleta Parshall para garantizar el proceso eficiente en la unidad de mezcla rápida.

Se sugiere el mejoramiento de los lechos de filtración, aumentar su espesor y tener en cuenta la calidad de los materiales utilizados.

Dotar a la planta con un macro medidor de salida para identificar el agua distribuida a la población y las posibles pérdidas dentro de la planta.

Se requiere que las empresas públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo “EPHAC S.A E.S.P.” garantice la disponibilidad presupuestal para realizar periódicamente los mantenimientos preventivos en las instalaciones y equipos de la planta de tratamiento, al igual de los mantenimientos correctivos que se requieran y que estén enmarcados dentro de las políticas de calidad de la empresa.

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de cuenta con una estructura hidráulica que en general cumple con los estándares de potabilización del agua cruda. Sin embargo, se debe tener en cuenta la dosificación del coagulante (sulfato de aluminio tipo A)

utilizado con el fin de eliminar microorganismos presentes en el material granulado poco perceptible a simple vista.

Los laboratorios que se realizan al agua de entrada y salida deben realizarse con más rigurosidad y precisión con el fin de tener un control riguroso, con el propósito de establecer medidas anticipadas de la calidad del agua para evitar posibles enfermedades transmitidas por el agua a distribuir a la población.

15. Conclusiones

Se requiere mayor capacitación orientada a aumentar la capacidad operante del fontanero. Esto facilitará el manejo de las estructuras y el desarrollo de los procesos de la PTAP, como también permitirá la identificación de las fallas y la corrección de las mismas.

Mediante la visualización y descripción de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Hato Corozal - Casanare, se difiere que posee estructuras hidráulicas en buen estado, puesto que es relativamente nueva, (fundada en el año 2010). Las estructuras hidráulicas trabajan adecuadamente, cumpliendo la función establecida para cada una.

La PTAP del acueducto del municipio opera en la actualidad a un 75 % de eficiencia, representando falencias estructurales en un 63,64 % de sus estructuras; como también en un 16,19 % de sus procesos.

En la canaleta Parshall no se está realizando correctamente la mezcla rápida con el coagulante, esto se evidencia en las incrustaciones de químico a lo largo de la canaleta y al inicio de la etapa de floculación.

En cuanto a la calidad del agua tratada, después de socializar el manual de operación a las personas encargadas de tratar el agua para el municipio de Hato Corozal, la Empresas Públicas de Hato Corozal, Acueducto, Alcantarillado, Gas y Aseo S.A. E.S.P. tiene una calificación de SIN RIESGO en el agua que distribuye a la población, según los análisis que realiza Secretaría de Salud como ente de control y las contra muestras realizadas por el laboratorio Aqualim. contratada por la misma Empresa.

Generalmente si evaluamos las estructuras hidráulicas y las características físico - químicas del agua que se trata, se puede apreciar que la Planta de Tratamiento de Agua Potable brinda agua de calidad, Sin embargo, es importante seguir las dosificaciones

presentes en el manual, para mejorar las características del agua y que el proceso de tratamiento sea satisfactorio.

16. Bibliografía

- alcora. (16 de junio de 2020). *alcora*. Obtenido de <https://alcora.es/blog/agua-apta-consumo-humano/>
- Hernandez, E., & Corredor, C. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia*. Bogotá D.C.
- Loaiza, J. (2018). *Diagnóstico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable Guacavía en el municipio de Cumaral departamento del Meta*. Meta.
- Maldonado, W. (2018). *Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Chipatá (Santander)*. Bogotá D.C.
- Martinez, M. (2020). *Actualización del sistema de gestión de mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable Los Garzones de la empresa Veolia Aguas de Montería*. Córdoba.
- Montiel, L. (2019). *Diagnóstico del estado actual de la PTAP del municipio de Moniquirá*. Tunja.
- Nuestra Entidad [Anónimo]. EPHAC S.A. E.S.P [página web]. [Consultado el 28, febrero, 2022]. Disponible en Internet: <<http://www.ephac.gov.co/entidad/nuestra-entidad>>.
- Organigrama [Anónimo]. EPHAC S.A. E.S.P [página web]. [Consultado el 28, febrero, 2022]. Disponible en Internet: <<http://www.ephac.gov.co/entidad/organigrama>>.
- Funciones y deberes. (2018, 28 septiembre). *Empresas Publicas De Hato Corozal*. <http://www.ephac.gov.co/entidad/funciones-y-deberes>

Nueva Resolución 0330 de 2017 - *reglamento técnico RAS - ACODAL occidente* [Anónimo].

ACODAL Occidente [página web]. [Consultado el 25, marzo, 2022]. Disponible en

Internet: <<https://www.acodal.com/nueva-resolucion-ras/>>.

Resolución 0330 - 2017 | *Minvivienda*. (2017, 8 junio).

<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Floculación. (2018). *Equipos y laboratorio de Colombia*.

<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/floculacion>

REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente,*

Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., junio de 2007.

Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. *Resolución 0330 de 2017. Título 7. Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.*

Min Vivienda. (2013). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*

RAS 2000 Título C. Bogotá: Diagramación y diseño gráfico.

Presidencia De La República, 1991. *Constitución Política de Colombia.*

Ministerio De La Protección Social. *Decreto 1575 de 2007. Sistema para la Protección y*

Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. P

17. Lista De Anexos

Anexo A: Censo Poblacional municipio de Hato Corozal

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ctAHLkbiS3hZGEP02HHyhlfa0awgkhf2/edit?usp=share_link&ouid=115545965048444815799&rtpof=true&sd=true

Anexo B: Aforo Quebrada Las Guamas

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/19yKh3tzUzriFA0XGdRfKJUnsUjE_2fz-/edit?usp=share_link&ouid=115545965048444815799&rtpof=true&sd=true

Anexo C: Proyección Población

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1yRf7N48J4HHJnR1fcJ3v4iVeaWWv0nox/edit?usp=share_link&ouid=115545965048444815799&rtpof=true&sd=true

Anexo D: Necesidad Macro medidor

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

<https://drive.google.com/file/d/1lLcrQcSBP4oKt7Hpc2oxTBcBs9E-vA5C/view?usp=sharing>

Anexo E: Control diario de Operación de la PTAP

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1juGffl-612Oz_jiQ2K8SJSrqMxJtaCNh/edit?usp=sharing&ouid=115545965048444815799&rtpof=true&sd=true

Anexo F: Análisis de Turbiedad

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1yW4yjvmmaUah5wcyioP5HzGYKdvAMAbd/edit?usp=sharing&ouid=115545965048444815799&rtpof=true&sd=true>

Anexo G: Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAP

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

https://drive.google.com/file/d/116tDxHOSODWwclbfl6Ft4GNvmjRJuxbL/view?usp=share_link

Anexo H: Asistencia de Socialización

Ver anexo adjunto en el siguiente link:

<https://drive.google.com/file/d/16vyQ9WcAZQ4EamGL8Fcs643o6SIYSrYl/view?usp=sharing>