

**Mantenimiento de las unidades de tratamiento para el mejoramiento de la calidad del  
efluente en a PTAR EL Toro, Municipio Castilla La Nueva - Meta**

Julio Cesar Babilonia Sánchez

Trabajo de grado para optar por el título profesional de tecnología en saneamiento ambiental

Director

Brinton Rafael Urina Montenegro

Ingeniero Ambiental y Sanitario Esp. MSc

Docente UNAD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente

Tecnología en Saneamiento Ambiental

2024

## **Resumen**

El presente estudio tiene como objetivo determinar la contribución del proyecto de mantenimiento de la planta de tratamiento "El Toro" para asegurar el funcionamiento óptimo de sus procesos de tratamiento. Se destaca la participación y aporte del autor al desarrollo de un proyecto modelo para la mejora de las plantas de tratamiento, en cumplimiento con la normativa vigente, específicamente la resolución 631 de 2015, que establece los parámetros máximos permisibles de emisión. Se enfatiza la importancia de que las plantas depuradoras cumplan con estos parámetros y se integren los últimos análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Además, se desarrolla una matriz según prioridades para regular las actividades del proyecto durante la ejecución. Como resultado, se concluye que la empresa Aguas De Castilla S.A. debe continuar con un plan semestral de mantenimiento para garantizar el funcionamiento sin contratiempos de las plantas depuradoras y cumplir con los objetivos establecidos para la eliminación de aguas residuales.

***Palabras clave:*** aguas residuales, calidad de agua, normativa vigente, planta tratamiento.

### **Abstract**

This study aims to determine the contribution of the maintenance project of the "El Toro" treatment plant to ensure the optimal operation of its treatment processes. It highlights the author's participation and contribution to the development of a model project for the improvement of treatment plants, in compliance with current regulations, specifically **decision 631 of 2015**, which establishes the maximum permissible emission parameters. The importance of treatment plants complying with these parameters and integrating the latest physicochemical and microbiological analyses is emphasized. In addition, a matrix is developed according to priorities to regulate project activities during implementation. As a result, it is concluded that Aguas De Castilla S.A. should continue with a semiannual maintenance plan to ensure the smooth operation of the treatment plants and meet the objectives established for the elimination of wastewater.

***Keywords:*** water, quality, regulations, plant, treatment.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Alcance .....	13
Objetivos.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Legal .....	15
Estado del Arte.....	15
Generalidades del Municipio .....	15
Localización Geografía y Extensión Territorial .....	15
Climatología.....	16
Hidrografía.....	16
Geología.....	17
Vías de Acceso.....	17
Población .....	18
Características del Centro Poblado El Toro.....	18
Población del Centro Poblado El Toro .....	20
Diagnóstico Técnico .....	21
Prestación de Servicios Públicos .....	21
Servicio Público Domiciliario de Acueducto .....	21
Servicio Público Domiciliario de Alcantarillado.....	21
Descripción del Sistema de Alcantarillado .....	22
Sistema de Alcantarillado Pluvial.....	22

Sistema de Alcantarillado Sanitario.....	23
Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales .....	23
Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales .....	27
Caracterización Físicoquímica de la Corriente y Punto de Descarga.....	28
Socialización con la Comunidad antes del Mantenimiento .....	29
Monitoreo de Agua Residual Doméstica El Toro.....	29
Diseño Metodológico.....	31
Revisión Teórica .....	31
Método Deductivo .....	31
Método Inductivo.....	32
Método Cuantitativo .....	32
Técnicas .....	32
Cursos Profesionales.....	32
Resultados.....	33
Aspectos Físicoquímicos y Mediciones <i>In Situ</i> .....	37
Comparación de Resultados.....	40
Decreto 1076 de 2015 .....	40
Resolución 631 de 2015.....	41
Mantenimiento .....	42
Fabricación de Tapas en Concreto .....	45
Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales .....	48
Caracterización Físicoquímica de la Corriente y Punto de Descarga.....	48
Monitoreo de Agua Residual Doméstica El Toro.....	49

Metodología .....	50
Toma de Muestras .....	50
Puntos de Muestreo.....	51
Medición de Caudal Puntos de Entrada y Salida del Sistema .....	52
Aspectos Físicoquímicos y Mediciones <i>In Situ</i> .....	58
Comparación de Resultados con la Resolución 631 de 2015 .....	60
Situación de la Empresa.....	62
Misión .....	62
Visión.....	62
Estructura Administrativa .....	63
Recurso Humano.....	64
Análisis y Selección de Alternativas.....	65
Formulación y Evaluación de Alternativas.....	65
Ejecutar las Mejoras y Actividades Necesarias que Garanticen el Funcionamiento de la PTAR Pueblo El Toro en el Corto, Mediano y Largo Plazo .....	65
Programar y llevar registros anuales de mantenimientos preventivos y correctivos de los diferentes elementos que integran los sistemas de alcantarillado Sanitario y Pluvial, así como de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Toro.....	66
Validación y Selección de Alternativas .....	66
Proyecciones de Carga Contaminante .....	70
Discusión.....	71
Conclusiones .....	73
Referencias Bibliográficas .....	75

## Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Marco legal</i> .....	15
Tabla 2. <i>Proyecciones de población para el centro poblado El Toro</i> .....	20
Tabla 3. <i>Longitud red de alcantarilla pluvial</i> .....	22
Tabla 4. <i>Longitud red de alcantarilla sanitario</i> .....	23
Tabla 5. <i>Vertimiento red de Alcantarillado El Toro</i> .....	27
Tabla 6. <i>Análisis del Laboratorio</i> .....	29
Tabla 7. <i>Georreferenciación de los puntos de muestreo</i> .....	35
Tabla 8. <i>Caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento y alícuotas para composición de la muestra</i> .....	35
Tabla 9. <i>Resultados de los parámetros de campo</i> .....	38
Tabla 10. <i>Comparación de resultados con la normatividad para vertimientos a cuerpos de agua, decreto 1076 de 2015</i> .....	40
Tabla 11. <i>Comparación de resultados con la normatividad para vertimientos a cuerpos de agua, Resolución 631 de 2015</i> .....	41
Tabla 12. <i>Insumos, herramientas y equipos utilizados para la elaboración de tapas de concreto</i> .....	45
Tabla 13. <i>Vista general después del mantenimiento</i> .....	47
Tabla 14. <i>Vertimiento red de alcantarillado El Toro</i> .....	48
Tabla 15. <i>Análisis del laboratorio</i> .....	49
Tabla 16. <i>Punto de muestreo</i> .....	51
Tabla 17. <i>Punto de entrada y salida del tratamiento</i> .....	53

Tabla 18. <i>Caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento y alícuotas para composición de la muestra</i> .....	54
Tabla 19. <i>Tabla de resultados aguas arriba y aguas abajo. Parte 1</i> .....	56
Tabla 20. <i>Tabla de resultados aguas arriba y aguas abajo. Parte 2</i> .....	57
Tabla 21. <i>Resultados de los parámetros de campo</i> .....	58
Tabla 22. <i>Comparación de resultados frente a la Resolución 631 de 2015</i> .....	60
Tabla 23. <i>Recurso humano de la empresa</i> .....	64
Tabla 24. <i>Análisis costo-beneficio de las estrategias planteadas</i> .....	67
Tabla 25. <i>Proyección de la carga contaminante DBO y SST</i> .....	70

## Lista de Figuras

Figura 1. <i>Centro Poblado El Toro</i> .....	19
Figura 2. <i>Centro Poblado El Toro</i> .....	19
Figura 3. <i>Canal de entrada a la PTAR</i> .....	25
Figura 4. <i>Vista general de la PTAR</i> .....	25
Figura 5. <i>Caja de salida PTAR</i> .....	25
Figura 6. <i>Vista general del predio de la PTAR</i> .....	26
Figura 7. <i>Canaleta Parshall PTAR El Toro</i> .....	26
Figura 8. <i>Punto de vertimiento – Centro Poblado El Toro</i> .....	27
Figura 9. <i>Ubicación Centro Poblado El Toro</i> .....	28
Figura 10. <i>Actividades de la socialización</i> .....	29
Figura 11. <i>Análisis de muestras individuales</i> .....	33
Figura 12. <i>Análisis de muestras compuestas</i> .....	34
Figura 13. <i>Comportamiento del caudal a la salida del sistema de tratamiento durante el muestreo</i> .....	37
Figura 14. <i>Medición in situ</i> .....	37
Figura 15. <i>Comportamiento del pH durante el monitoreo</i> .....	39
Figura 16. <i>Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 1</i> .....	42
Figura 17. <i>Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 2</i> .....	43
Figura 18. <i>Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 3</i> .....	43
Figura 19. <i>Mantenimiento de zonas verdes</i> .....	44
Figura 20. <i>Mantenimiento de zonas verdes. Parte 2</i> .....	44
Figura 21. <i>Hidro-lavado de las estructuras de la planta</i> .....	45

Figura 22. <i>Fumigación de las estructuras de las zonas verdes</i> .....	45
Figura 23. <i>Retiro de las estructuras metálicas</i> .....	46
Figura 24. <i>Punto de Vertimiento – Centro Poblado El Toro</i> .....	48
Figura 25. <i>Toma de muestras</i> .....	51
Figura 26. <i>Comportamiento del caudal a la salida del sistema de tratamiento durante el muestreo</i> .....	55
Figura 27. <i>Perfil de la fuente aguas arriba del vertimiento</i> .....	55
Figura 28. <i>Medición del pH con el potenciómetro EQL 370 y medición de temperatura con el termómetro EQL 374</i> .....	58
Figura 29. <i>Comportamiento del pH durante el monitoreo</i> .....	60
Figura 30. <i>Estructura administrativa de la empresa</i> .....	63

## Introducción

La empresa AGUAS DE CASTILLA S.A. ESP, dedicada a la prestación de servicios públicos de agua, alcantarillado y aseo en el municipio de Castilla La Nueva, Meta, así como en áreas rurales, ha sido un pilar fundamental desde su fundación el 19 de diciembre de 2008. Su compromiso con la calidad y la protección del medio ambiente la ha posicionado como una entidad confiable y de alta calidad, orientada a satisfacer las necesidades de sus clientes.

En el contexto normativo, la empresa se ve impulsada por regulaciones como la Resolución 631 de 2015, que exige el ajuste gradual de las emisiones conforme a las normativas ambientales y de salud. Además, el Decreto 2667 del 2012, regula la tasa de compensación por el uso del agua, mientras que la Resolución 1433 de 2004 establece los lineamientos para los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV).

El incremento de la preocupación por los problemas medioambientales derivados de un tratamiento inadecuado de las aguas residuales ha llevado a una acción coordinada entre el ayuntamiento de Castilla La Nueva y Aguas de Meta. Castilla S.A E.S. P. Ambas entidades se han propuesto evaluar el tratamiento actual de las aguas en el centro de la ciudad, en línea con los estándares ambientales y los objetivos de calidad establecidos por CORMACARENA.

En este contexto, se ha diseñado el Plan de Saneamiento y Depuración de El Toro, que busca guiar las acciones necesarias para mejorar el tratamiento y depuración de las aguas residuales urbanas y rurales en un horizonte de diez años, con metas a corto, mediano y largo plazo.

Este trabajo se organiza en tres partes. La primera propone recomendaciones para alcanzar la meta de adaptación gradual, sugiriendo la implementación de un plan de mantenimiento semestral por parte de Aguas de Meta. Castilla S.A E.S. P (Sección 12 y 13). La

segunda parte profundiza en la relación entre la teoría y la práctica de la actividad profesional, detallando los métodos y procedimientos empleados (Sección 14). Finalmente, la tercera parte presenta las experiencias y aportes relevantes en este ámbito, completando así un enfoque integral hacia la mejora del tratamiento de aguas residuales en el municipio (Sección 15).

### **Alcance**

La propuesta de plan de saneamiento y alcantarillado para El Toro, ubicado en el municipio de Castilla La Nueva – Meta, tiene como objetivo principal garantizar una adecuada recolección, transporte, tratamiento y disposición de las aguas residuales. Este plan implica el mantenimiento, reposición, ampliación y rehabilitación de los cursos de agua, así como la implementación de un sistema de alcantarillado y tratamiento que cumpla con las metas y objetivos de calidad establecidos por el organismo ambiental.

La meta para el año 2027 es convertir a El Toro en un centro rural con una población estimada de 225 habitantes, según datos del Municipio de Castilla La Nueva, Meta, 2017, para alcanzar este objetivo, es necesario adecuar la infraestructura de tratamiento de agua en la vereda, garantizando que cumpla con los estándares de calidad establecidos por los objetivos de la Cuenca del Río Mética, definidos en la resolución No 2.6.06.1051 del 29 de diciembre de 2006.

Dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), se han propuesto una serie de programas y proyectos orientados a lograr acuerdos a corto, mediano y largo plazo. Estos esfuerzos buscan asegurar la mejora continua de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales en El Toro, con el fin de satisfacer las necesidades de la comunidad y promover el desarrollo sostenible en la región.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el mantenimiento de la planta tratamiento El "Toro" para asegurar que los distintos procesos de tratamiento funcionen bien, por ejemplo, analizando la calidad del agua, y proponer un mantenimiento general que permita la solución de este problema en la comunidad.

### Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la infraestructura de alcantarillado existente y conocer las necesidades de reposición, ampliación y mantenimiento de las redes; Asimismo, optimizar la previsión a corto y medio plazo en base a la reducción paulatina de la carga contaminante por emisiones en el centro poblado El Toro en cumplimiento de metas y objetivos de calidad del aire.
- Identificar medidas de corto, mediano y largo plazo para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de DBO y SST.
- Proponer alternativas, estrategias y/o obras para asegurar que el mantenimiento redunde en una buena remoción de efluentes y reduzca los parámetros que no se cumplen.

## Marco legal

El presente Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos PSMV del centro poblado **El Toro** del municipio de Castilla La Nueva, se adhiere al siguiente marco legal

**Tabla 1.** *Marco legal*

Norma	Contenido
Constitución Política de Colombia, artículos 79, 89 y 95	Se establece la obligación del estado de proteger la diversidad del medio ambiente previniendo y controlando los factores que causen su detrimento.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental.
Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Aguas de Castilla S.A ESP. (2017). Plan de emergencia y contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Castilla la Nueva, Meta.

## Estado del arte

### Generalidades del municipio

#### *Localización geografía y extensión territorial*

El municipio de Castilla La Nueva se ubica geográficamente sobre el piedemonte llanero en la región de la Orinoquía y tiene un área total de 507.28 Km<sup>2</sup> Ha. Se encuentra localizado en la latitud 03° 49' 49" (N) y longitud 73° 40' 57" (E); tiene una altitud aproximada de 400 msnm y una temperatura promedio de 26°C (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2012).

### ***Climatología***

En la evaluación de las condiciones climáticas del municipio de Castilla La Nueva se destacan tres unidades climáticas identificadas en la zona climática PGAR, que se describen a continuación:

Clima supe húmedo medio A2: Con factores de humedad entre 201 y 300, precipitaciones entre 2.800 y 5.270 mm, temperaturas entre los 16,6°C y 26,2°C, no presenta déficit de agua y los excesos de agua van de enero a diciembre.

Clima supe húmedo bajo A1: Con factores de humedad entre 101 y 200, precipitaciones entre 2.800 y 3.750 mm, temperaturas entre 22,3°C y 25,1°C, presenta déficit de agua durante los meses de febrero y marzo, y excesos de agua entre abril y diciembre.

B4 muy húmedo: coeficientes de humedad 81-100, precipitación 2700-2800 mm, temperatura 24,8-26 °C, déficit hídrico en enero-marzo y exceso de agua en abril-diciembre (Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta., S.F).

### ***Hidrografía***

Los sistemas hidrográficos del departamento del Meta se distinguen por un enorme reservorio de agua formado por una red de ríos, caños, arroyos que riegan toda la región, acuíferos subterráneos y humedales en la mayoría de los municipios, este constituye el período húmedo de abril a noviembre. Temporada seca de diciembre a marzo.

El municipio de Castilla La Nueva se encuentra enmarcado en la jurisdicción de los POMCAS de los ríos Guamal, Acacias y Pajure, perteneciente todos éstos al río Meta, y éste a su vez a la gran cuenca del río Orinoco (Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta., S.F).

## **Geología**

En relación a esta geología, se describen las principales características de los estudios y análisis realizados en el proceso de diagnóstico y composición del río Guamal, río Acacias y Pajure.

El área geológica que comprende el municipio de Castilla la Nueva está asociada a la cuenca de los Llanos Orientales, que corresponde a la típica cuenca de "antepaís" formada por el levantamiento de la cordillera oriental en el Mioceno - Plioceno; este levantamiento provocó la remoción de gran cantidad de sedimentos de la llanura en zonas ganaderas, preferentemente en el sureste, formándose un gran depósito cuaternario con una gran variación de facies laterales. Limita con el área geológica Piedemonte Llanero y está estructuralmente separado por el sistema de empujes Borde Llanero.

Los escenarios geológicos de la cuenca del río Guamal brindan una visión panorámica de la explotación de recursos minerales, compuestos principalmente por restos recientes, rocas sedimentarias de basamento del Cretácico y Terciario y Precámbrico, y potencial de recursos de hidrocarburos en rocas del Terciario y Cretácico. Cuenca de los Llanos Orientales (Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta., S.F).

## ***Vías de Acceso***

El acceso al municipio se realiza a través de las vías regionales de los municipios de Guamal y Acacias, las cuales tienen un ancho de 12 m, suficiente de acuerdo al tránsito vehicular actual en dichas vías.

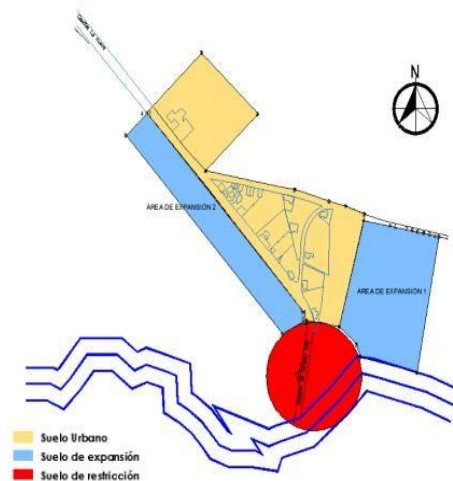
### ***Población***

De acuerdo con el reporte de la base de datos del SISBEN con corte AÑO 2023, el municipio de Castilla La Nueva cuenta con 16.285 habitantes (Censos de Población, 2023).

### **Características del Centro Poblado El Toro**

El centro poblado El Toro cuenta con un área urbana de 7.80 hectáreas, un suelo de expansión de 7.18 hectáreas y un suelo con uso restringido de 3.14 Hectáreas (Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta., S.F).

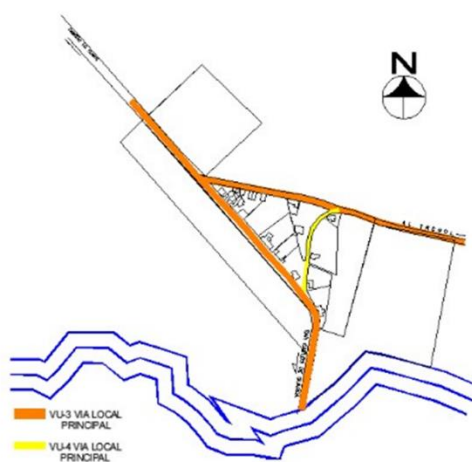
**Figura 1.** Centro Poblado El Toro



*Fuente.* Esquema de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico de Soporte. Castilla la Nueva.

La estructura vial del centro de El Toro cuenta con dos terminales locales, la primera conecta el centro con la cabecera municipal de Castilla la Nueva y San Carlos de Guaroa, y la segunda es de carácter local (Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta., S.F).

**Figura 2.** Centro Poblado El Toro



*Fuente.* Esquema de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico de Soporte. Castilla la Nueva.

### ***Población del Centro Poblado El Toro***

La consulta sobre el número de residentes del centro residencial se realizó en la alcaldía, que registra un total de 225 residentes en la base de datos SISBEN al año 2023.

**Proyecciones de Población del Centro Poblado El Toro.** Dado que el censo del DANE muestra por separado la población urbana y rural, es posible calcular estimaciones de población específicamente para el centro poblado de El Toro a partir de la fuente oficial citada. Por lo anterior, se propone actualizar las proyecciones poblacionales para el centro poblado El Toro con base en las cifras proporcionadas en la base de datos SISBEN 2023 para el vigente Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV.

**Tabla 2.** *Proyecciones de población para el centro poblado El Toro*

<b>Centro Poblado</b>	<b>Sisbén/año</b>	<b>Población (Hab)</b>
El Toro	2018	235
	2026	338

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, 2017

A partir del análisis de datos anteriores, se elabora inicialmente la proyección poblacional del centro poblado para el año 2018 y luego para los próximos diez años, lo que se refleja en el cálculo del caudal y carga contaminante. Se utilizaron métodos aritméticos y geométricos, considerando la necesidad de actualizar las proyecciones poblacionales del PSMV de 2009 para el centro de El Toro con números que permitan un análisis de las potenciales cargas contaminantes a la fuente hídrica. durante los próximos diez años.

## **Diagnóstico Técnico**

### **Prestación de Servicios Públicos**

Empresa de servicios público Aguas de Castilla S.A ESP. presta servicios de agua, alcantarillado y aseo en el centro poblado **El Toro** y actualmente cuenta con 97 suscriptores.

### **Servicio Público Domiciliario de Acueducto**

El agua que se abastece a los habitantes del El Toro se toma de una fuente de captación subterránea (pozo profundo) ubicada en el centro de salud, el pozo es perforado de 50 m, el diámetro de la bomba es de tubería PVC 4" 2" actualmente existe a. la empresa aguas de castilla s.a. ESP cuenta con permiso de agua de CORMACARENA, donde se solicitó un caudal de 5 l/s (Aguas De Castilla S.A ESP, 2017).

### **Servicio Público Domiciliario de Alcantarillado**

El servicio público domiciliario de alcantarillado en la población actualmente se organiza en redes separadas para aguas pluviales y alcantarillado. El sistema de alcantarillado sanitario, compuesto por tuberías de PVC corrugado con un diámetro de 8", canaliza las aguas residuales hacia un único pozo de recolección. Desde allí, las aguas son dirigidas a una planta central de tratamiento de aguas residuales, donde se lleva a cabo el proceso de depuración antes de su descarga final en el Caño Guaroa, afluente del Río Metica. la cobertura de red de alcantarillado alcanza el 100% de la población.

La responsabilidad de la gestión del servicio de alcantarillado en el centro de El Toro recae en Aguas de Castilla S.A ESP. Esta empresa no solo se encarga de la operación y mantenimiento de las redes sanitarias y pluviales, sino también de la administración de la planta

de tratamiento de aguas residuales. En términos de suscriptoría, según el padrón existente, se contabilizan 97 suscriptores registrados para el servicio de alcantarillado en el centro de El Toro, según datos proporcionados por Aguas de Castilla S.A ESP en 2017.

Este sistema integral de alcantarillado, gestionado por Aguas de Castilla S.A ESP, es vital para garantizar la adecuada gestión de las aguas residuales en la comunidad de El Toro, asegurando la protección del medio ambiente y la salud pública, así como la calidad de vida de sus habitantes.

### **Descripción del Sistema de Alcantarillado**

#### ***Sistema de Alcantarillado Pluvial***

El centro poblado **El Toro** tiene un sistema de alcantarillado pluvial que se estima en 2,784 pies lineales de PVC y de 8 a 24 pulgadas de diámetro. si bien no existe un registro de redes (catastro) para Aguas de Castilla S.A ESP, hasta el momento se cuenta con información amano alzado sobre las características generales de las redes de alcantarillado pluvial.

**Tabla 3.** *Longitud red de alcantarilla pluvial*

Diámetro (Pulgada)	Longitud Tubería			Longitud (m)
	CRES	PVC	CONCRETO	
8		X		1681
12		X		91
14		X		165
16		X		141
18		X		104
24		X		603
			<b>Total</b>	2784

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP,(2017).

### ***Sistema de Alcantarillado Sanitario***

Para el alcantarillado sanitario, la longitud total de la red se estima en aproximadamente 1077.5 metros lineales, construida con tuberías de PVC de 8" de diámetro, con 25 pozos de inspección sanitaria. la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Toro. Cuenta con una cobertura del sistema de alcantarillado del 100%. existe un registro de redes a mano alzada en la empresa Aguas de Castilla S.A ESP, sí se cuenta con esta información fue recopilada por el personal operativo sobre las características generales de las redes sanitarias según el trabajo de campo realizado por el personal técnico durante el periodo 01/10/2023 al 28/10/2023.

**Tabla 4.** *Longitud red de alcantarilla sanitario*

<b>Diámetro (pulgada)</b>	<b>GRES</b>	<b>PVC</b>	
8		X	1.077,5
		<b>Total</b>	1.077,5

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, (2017).

### **Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

El sistema de tratamiento de aguas residuales en este caso consta de dos etapas fundamentales, las cuales se describen a continuación:

En primer lugar, se lleva a cabo un tratamiento preliminar físico que incluye una serie de procesos. El agua residual ingresa a través de un canal de llegada y posteriormente pasa por un proceso de cribado utilizando una rejilla para la remoción de sólidos de gran tamaño. Luego, se procede a la desarenaación para eliminar arena y otros materiales sedimentados, seguido por el paso a una canaleta Parshall para regular el flujo de agua.

Por otro lado, se implementa un tratamiento secundario del tipo SAMM, que corresponde a un sistema anaeróbico múltiple mixto. Este proceso tiene como objetivo principal la

degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Inicia con el ingreso del agua al digestor anaerobio de baffles, donde comienza la descomposición de la materia orgánica.

Posteriormente, el agua pasa a través de un filtro anaerobio de flujo ascendente para continuar con el tratamiento. Finalmente, se completa el proceso en el digestor percolador de flujo de pistón horizontal. Adicionalmente, se cuenta con una zona de deshidratación de lodos mediante lechos de secado.

La descarga final del efluente tratado se realiza aproximadamente a 100 metros de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas PTAR, a través de una tubería de PVC de 8 pulgadas. Esta descarga se vierte sobre un morichal, cuyas aguas drenan hacia el caño Guaroa, afluente del río Metica. Para garantizar la integridad de la tubería, se ha instalado una estructura de concreto como protección.

Durante una visita de inspección operativa, se observó que la planta de tratamiento de aguas residuales requiere mantenimiento general, incluyendo la inspección de la estructura externa (como la canaleta Parshall y las tapas y herrajes metálicos) e interna (eliminación de exceso de lodos en el sistema de eliminación de lodos). A continuación, se presenta un registro fotográfico de la planta de tratamiento de agua residual del centro poblado El Toro, previo a las labores de mantenimiento.

**Figura 3.** Canal de entrada a la PTAR



*Fuente.* Autoría Propia

**Figura 4.** Vista general de la PTAR



*Fuente.* Autoría Propia

**Figura 5.** Caja de salida PTAR



*Fuente.* Autoría Propia

**Figura 6.** Vista general del predio de la PTAR



*Fuente.* Autoría Propia

**Figura 7.** Canaleta Parshall PTAR El Toro



*Fuente.* Autoría Propia

En la actualidad se encuentra la PTAR operando. a la fecha se conocen las medidas de control de calidad del agua tratada realizadas por un laboratorio debidamente certificado, por lo que se conoce la efectividad de la remoción de cargas contaminantes. por lo tanto, se registraron resultados que no cumplen con la Resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y

desarrollo sostenible, que establece los parámetros y valores límite máximos permisibles para descargas específicas de cuerpos de agua superficiales.

### ***Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales***

Se identificó (1) vertimiento correspondiente al alcantarillado del centro poblado El Toro según visita de campo, a continuación, se describe:

**Tabla 5.** *Vertimiento red de Alcantarillado El Toro*

No	Descripción del Vertimiento	Sector Aferente	Descarga	Coordenadas	
				Norte	Este
1	VERTIMIENTO No. 1	Centro poblado el toro	Caño Guaroa	03°47'0.30"	73°23'59.5"

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, (2017).

**Figura 8.** *Punto de vertimiento – Centro Poblado El Toro*



*Fuente.* Autoría Propia.

### ***Caracterización Fisicoquímica de la Corriente y Punto de Descarga***

Mediante la Resolución No 2.6.06.1051 del 29 de diciembre de 2006 se adoptó el plan de ordenamiento del río Metica y se determinaron los objetivos de calidad del agua para dicha cuenca, establecidos por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena.

**Figura 9.** *Ubicación Centro Poblado El Toro*



*Fuente.* Google Earth, (2023).

Las muestras de agua y los análisis de laboratorio son llevados a cabo por el Laboratorio TECNOMBIENTAL S.A.S, el cual cuenta con acreditación por parte del IDEAM, de acuerdo con la Resolución No 1172 del 9 de junio de 2016, cumpliendo con los estándares establecidos en la norma NTC/ISO/IEC 17025:2005. Los parámetros analizados se ajustan a lo establecido en la Resolución 631 de 2015, artículo 8, siguiendo las directrices para aguas residuales domésticas con una carga máxima de 625,00 kg/día de DBO5.

Durante el proceso, se tomaron muestras tanto compuestas como puntuales, cuyos resultados se detallan en la Tabla 6 del análisis realizado por el laboratorio.

**Tabla 6. Análisis del Laboratorio**

Centro Poblado	No. De Habitante	Tipo de Alcantarillado Existente	Fuente Receptora	Ensayo de Laboratorio
El Toro	235 Hab	Sanitario y pluvial	Caño Guaroa	Caracterización puntual aguas arriba
				Caracterización compuesta 24 horas
				Caracterización puntual aguas abajo

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, (2023).

### ***Socialización con la Comunidad antes del Mantenimiento***

Se creó una socialización a la comunidad dándoles a conocer el mantenimiento y las mejoras a realizar a la PTAR. los resultados de los análisis antes mencionados se pueden ver en el anexo 1.

**Figura 10. Actividades de la socialización**



*Fuente.* Autoría Propia.

### ***Monitoreo de Agua Residual Doméstica El Toro***

Utilizando sistemas de muestreo estandarizados, verificar parámetros fisicoquímicos (efluente, DBO-5, DQO, grasas y aceites, material flotante, pH, sólidos sedimentables, sólidos

suspendidos totales y temperatura) en la entrada y salida del sistema de tratamiento. Con base en los resultados del monitoreo del alcantarillado urbano, determinar las condiciones en las que opera AGUAS DE CASTILLA S.A. La descarga del sistema de tratamiento operado en la vereda El Toro se encuentra ubicada en la jurisdicción del municipio de Castilla La Nueva.

## **Diseño Metodológico**

La metodología aplicada en este trabajo de grado se fundamenta en la experiencia profesional adquirida durante el aprendizaje y se centra en la capacidad de tomar decisiones y ofrecer soluciones a problemas complejos. Se parte de la aplicación de conocimientos previamente adquiridos durante la carrera universitaria, así como de habilidades técnicas desarrolladas a lo largo del tiempo.

### **Revisión Teórica**

Se lleva a cabo una revisión exhaustiva de los conceptos importantes y los aportes teóricos relacionados con el objeto de investigación. Esto ayuda a clarificar los pensamientos sobre el tema y a definir, refinar y enfocar mejor desde un punto de vista interesante, se investigan los procedimientos, directrices y normativas de la empresa Aguas De Castilla S.A. E.S.P., así como las etapas y normativas que regulan el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

### **Método Deductivo**

Se emplea el método deductivo para razonar de lo general a lo específico. Se parte de un análisis general de principios, teorías, etc., para luego comprobar su validez con conclusiones específicas.

### **Método Inductivo**

Se utiliza el método inductivo para analizar una parte a partir de un todo, es decir, de lo específico a lo general. Se comienza con observaciones individuales de los hechos y se extraen conclusiones generales a partir de estas observaciones.

### **Método Cuantitativo**

Se aplican modelos matemáticos para resolver problemas de forma racional y científica. Este método permite analizar, evaluar y determinar la información cuantitativa que apunta a un problema u objetivo.

### **Técnicas**

Las técnicas utilizadas incluyen la inspección de campo, observación en la zona, recolección de datos, análisis de laboratorio, planificación y elaboración de informes, trabajo en equipo, reuniones con gerentes para la toma de decisiones, definición de planes de acción, capacitación a la comunidad y elaboración de cronogramas.

### **Cursos Profesionales**

Se incluyen cursos profesionales relevantes para el desarrollo de las actividades, como preparación y análisis de muestras de agua, estadística y probabilidad, caracterización de contaminantes atmosféricos y sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estos cursos contribuyen al crecimiento profesional y al desarrollo de las actividades propuestas en este trabajo de grado.

## Resultados

El muestreo se llevó a cabo el día 8 de marzo de 2022, a partir de las 8:00 a.m., en los puntos de entrada y salida del sistema de tratamiento, con una periodicidad de sesenta (60) minutos entre cada muestra individual. En total, se tomaron veinticuatro (24) alícuotas en cada punto de muestreo de la planta de tratamiento. El muestreo de los parámetros físico-químicos se realizó de acuerdo con el Plan de Vigilancia No. 82-2022 y las recomendaciones de la Norma APHA "Métodos para la Investigación en Aguas Residuales" de 2017. se encarga de los análisis de sólidos disueltos, cloro libre y análisis del perfil de olor, sabor. Desinfección coliformes totales y fecales, esta norma es confiable y precisa y probada para el análisis de agua residual.

**Figura 11.** *Análisis de muestras individuales*



*Fuente.* Autoría Propia.

Se emplearon dos tipos de muestras: muestras individuales y muestras compuestas (**Figura 11**). Las muestras compuestas se obtuvieron a partir de las 08:00 horas para evaluar los efectos de emisiones y actividades variables o irregulares. Se recolectaron hasta un total de

veinticuatro (24) alícuotas tanto para el inicio como para la interrupción del tratamiento, combinando muestras individuales o especiales tomadas en puntos de muestreo cada sesenta (60) minutos. Estas muestras individuales se combinaron en cantidades proporcionales al caudal medido en el momento de la recolección respectiva, resultando en un volumen final de muestra de 4000 ml.



**Figura 12.** *Análisis de muestras compuestas*



*Fuente.* Autoría Propia.

El muestreo se realizó manualmente, teniendo en cuenta los puntos de entrada y salida del tratamiento, los cuales se identificaron como TA 43002 para la entrada y TA 43003 para la salida, con sus correspondientes coordenadas geográficas (Tabla 7).

**Tabla 7.** Georreferenciación de los puntos de muestreo

Entrada al Tratamiento TA 43002	Salida a la PTAR TA 43003
	
N: 03°47'02,2" W: 073°24'00,0"	N: 03°47'01,6" W: 073°23'59,8"

Fuente. Autoría Propia.

Se utilizó el método volumétrico para determinar el caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento, expresado en litros por segundo (L/s) (Tabla 8).

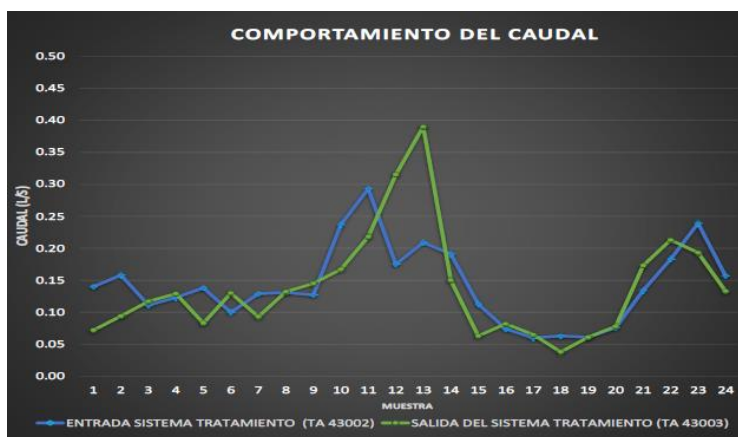
**Tabla 8.** Caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento y alícuotas para composición de la muestra

Muestra No.	Hora	Entrada al Sistema TA 43002		Salida del Sistema TA 43003	
		Caudal (L/s)	Volumen de Alícuota (mL)	Caudal (L/s)	Volumen de Alícuota (mL)
1	8:00 am	0,140	167	0,072	86
2	9:00 am	0,158	184	0,094	187
3	10:00 am	0,111	129	0,117	141
4	11:00 am	0,123	144	0,129	149
5	12:00 pm	0,138	162	0,083	107
6	1:00 pm	0,100	1117	0,130	155
7	2:00 pm	0,129	151	0,093	111

8	3:00 pm	0,131	153	0,132	159
9	4:00 pm	0,127	149	0,145	174
10	5:00 pm	0,237	277	0,167	200
11	6:00 pm	0,293	342	0,218	262
12	7:00 pm	0,175	204	0,315	378
13	8:00 pm	0,209	244	0,390	468
14	9:00 pm	0,191	224	0,150	180
15	10:00 pm	0,113	132	0,063	76
16	11:00 pm	0,074	86	0,082	99
17	12:00 am	0,060	70	0,065	78
18	1:00 am	0,063	73	0,038	70
19	2:00 am	0,061	71	0,061	73
20	3:00 am	0,076	89	0,078	93
21	4:00 am	0,134	156	0,173	108
22	5:00 am	0,183	213	0,213	255
23	6:00 am	0,239	280	0,193	231
24	7:00 am	0,157	183	0,133	160
<b>Suma</b>		3,422		3,334	
<b>Promedio</b>		0,143	4000	0,139	40003
<b>Máximo</b>		0,293		0,390	
<b>Mínimo</b>		0,060		0,038	

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

**Figura 13.** Comportamiento del caudal a la salida del sistema de tratamiento durante el muestreo



Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

### Aspectos Físicoquímicos y Mediciones *In Situ*

El análisis físicoquímico se realizó mediante mediciones in situ y toma de muestras para análisis en laboratorio. Se empleó el Potenciómetro EQL 376 para la medición de pH y el Termómetro EQL 380 para la medición de temperatura 0.

**Figura 14.** Medición *in situ*



Fuente. Autoría Propia.

Los resultados de los parámetros medidos en campo se detallan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de los parámetros de campo

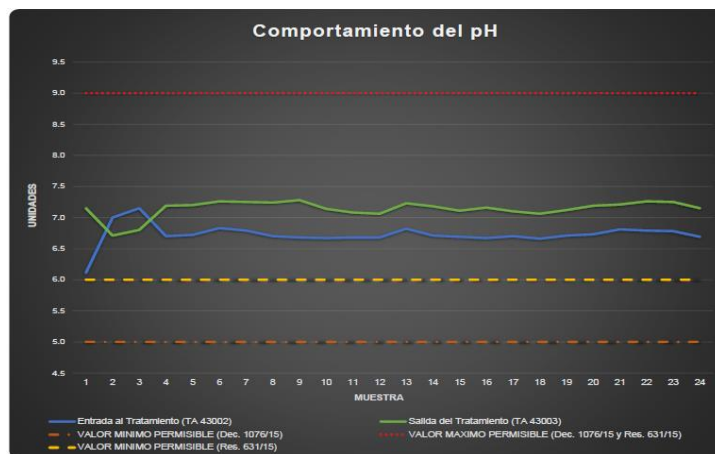
Muestra No.	Hora	Entrada al Sistema TA 43002			Salida del Sistema TA 43003		
		pH (UN)	Temperatura (°C)	Sólidos Sedimentables (mL/L)	pH (UN)	Temperatura (°C)	Sólidos Sedimentables (mL/L)
1	8:00 am	6,11	28,1	2,0	7,15	29,0	< 0,2
2	9:00 am	7,00	28,0	1,8	6,71	29,0	< 0,2
3	10:00 am	7,15	27,1	1,8	6,80	28,9	< 0,2
4	11:00 am	6,70	29,6	1,6	7,19	29,3	< 0,2
5	12:00 pm	6,72	29,7	1,6	7,20	28,3	< 0,2
6	1:00 pm	6,83	30,3	1,4	7,26	29,5	< 0,2
7	2:00 pm	6,79	31,2	1,2	7,25	29,8	< 0,2
8	3:00 pm	6,70	28,9	1,2	7,24	29,1	< 0,2
9	4:00 pm	6,68	28,8	1,4	7,28	28,6	< 0,2
10	5:00 pm	6,67	28,8	1,8	7,14	28,5	< 0,2
11	6:00 pm	6,68	28,6	1,8	7,08	28,6	< 0,2
12	7:00 pm	6,68	28,7	1,4	7,06	28,6	< 0,2
13	8:00 pm	6,82	28,1	1,2	7,23	28,5	< 0,2
14	9:00 pm	6,71	28,3	1,0	7,18	28,3	< 0,2
15	10:00 pm	6,69	27,9	1,0	7,11	28,3	< 0,2
16	11:00 pm	6,67	27,9	1,0	7,16	27,7	< 0,2
17	12:00 am	6,70	25,8	1,0	7,10	27,5	< 0,2
18	1:00 am	6,66	25,6	1,0	7,06	27,1	< 0,2
19	2:00 am	6,71	26,1	1,0	7,12	26,9	< 0,2
20	3:00 am	6,73	25,4	1,0	7,19	26,5	< 0,2
21	4:00 am	6,81	26,9	1,0	7,21	26,8	< 0,2
22	5:00 am	6,79	27,8	1,0	7,26	28,6	< 0,2
23	6:00 am	6,78	28,1	1,4	7,25	28,7	< 0,2
24	7:00 am	6,69	28,4	1,2	7,15	29,1	< 0,2
<b>Máximo</b>		7,15	31,2	2,0	7,28	29,8	< 0,2
<b>Mínimo</b>		6,11	25,4	1,0	6,71	26,5	< 0,2

Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

En cuanto a la temperatura, ésta varió entre 25,4 y 31,2 °C a la entrada del sistema de tratamiento, el valor medido a la salida de la PTAR fue de 29,8 °C 2 6,5. En la **(Figura 15)**,

**Comportamiento** del pH durante el monitoreo, se puede ver el comportamiento del pH durante el monitoreo, medido para cada lote.

**Figura 15.** *Comportamiento del pH durante el monitoreo*



*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

## Comparación de Resultados

### Decreto 1076 de 2015

En la Tabla 10, se relaciona la carga contaminante obtenida en los puntos de entrada y salida del tratamiento con lo dispuesto en el Artículo 2.2.3.3.9.14 Decreto 1076 de 2015.

**Tabla 10.** Comparación de resultados con la normatividad para vertimientos a cuerpos de agua, Decreto 1076 de 2015

Parámetro	Entrada del Tratamiento	Salida del Tratamiento	% de Remoción	Decreto	Cumple
pH (unidades)	6,11 a 7,15	6,71 a 7,28	No Aplica	5 a 9 Unidades	Si
DBO-5 (Carga-kg/día)	3,05	2,61	14,60	> 80 % Remoción	No
Grasas y Aceites (Carga-kg/día)	0,13	0,14	-9,01	> 80 % Remoción	No
Sólidos Suspendidos (Carga-kg/día)	0,26	--	--	> 80 % Remoción	--
Temperatura (°C)	25,4 a 31,2	26,5 a 29,8	No Aplica	≤ 40 °C	Si

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

De acuerdo a los resultados de los análisis físico-químicos y su comparación, se compara el porcentaje de remoción de carga contaminante a la entrada y salida del tratamiento con los valores establecidos por el **Reglamento 1076 de 2015** en su inciso 2.2.3.3.9.14, se hace constar que la empresa Aguas de Castilla S.A.S ESP, no cumple con los requisitos de DBO, parámetros de grasas y aceites. La concentración de sólidos suspendidos a la salida del sistema está por debajo del límite de detección del laboratorio, por lo que no se puede calcular un porcentaje exacto de eliminación.

Se observa que las concentraciones obtenidas para los parámetros de pH y temperatura se encuentran dentro de los límites permisibles de la norma mencionada.

### Resolución 631 de 2015

En la Tabla 11, muestran los resultados obtenidos en el monitoreo y su respectiva comparación con la norma ambiental para vertimientos a cuerpos de agua, a saber, la Resolución 631 de 2015, Artículo 8.

**Tabla 11.** Comparación de resultados con la normatividad para vertimientos a cuerpos de agua, Resolución 631 de 2015

Parámetro	Unidad	Valor Máximo Permissible	Salida del Tratamiento TA 43003	Cumple
<b>DBO5</b>	mg O <sub>2</sub> /L	90	217	No
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	180	290	No
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	20	12,0	Si
<b>Material Flotante</b>	Ausencia / Presencia	N. E	Ausencia	--
<b>pH</b>	UN	6,0 – 9,0	6,71 a 7,28	Si
<b>Sólidos</b>	mL/L	5,0	< 0,2	Si
<b>Sedimentables</b>				
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	90,0	< 15	Si
<b>Totales</b>				
<b>Temperatura</b>	°C	40	26,5 a 29,8	Si

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

La comparación de los resultados se realizó con la Resolución artículo 631/15 con 8 cargas y 625 kg/día. Como se dijo, el punto de salida no cumple con el valor máximo permitido de DBO5 y DQO, para otros parámetros cumple con los límites permitidos de la norma antes mencionada.

## Mantenimiento

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra operativa, durante la visita y requiere de un mantenimiento general de la estructura exterior (canaleta Parshall, cubiertas y herrajes metálicos ), y la estructura interna (exceso de eliminación de lodos) y el control del sistema de eliminación de lodos. A continuación, se adjunta evidencias fotográficas de la planta tratamiento aguas residuales de El Toro antes del mantenimiento.

**Figura 16.** *Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 1*



*Fuente.* Autoría Propia.

El mantenimiento se realizó durante el tratamiento primario, el cual consistió en retirar los sedimentos que retenían las aguas residuales en la entrada al sistema.

**Figura 17.** *Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 2*



*Fuente.* Autoría Propia.

La remoción de lodos sedimentados se realizó mediante tratamiento secundario con un sistema de bombeo, el cual consistió en retirar todo el material sedimentado (lodos) que sedimentaron y retuvieron en la entrada del sistema de alcantarillado.

**Figura 18.** *Mantenimiento canal de entrada a la PTAR. Parte 3*



*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 19.** *Mantenimiento de zonas verdes*



*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 20.** *Mantenimiento de zonas verdes. Parte 2*



*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 21.** *Hidro-lavado de las estructuras de la planta*



Fuente. Autoría Propia.

**Figura 22.** *Fumigación de las estructuras de las zonas verdes*



Fuente. Autoría Propia.

### Fabricación de Tapas en Concreto

A continuación se relacionan las herramientas, insumos y equipos empleados para la elaboración de las tapas de concreto que componen la planta.

**Tabla 12.** *Insumos, herramientas y equipos utilizados para la elaboración de tapas de concreto*

Ítem	Elemento	Unidad	Total
1	Cemento	Bulto	30
2	Varilla 9mm	Unidad	60

3	Alambre Negro	Kilos	10
4	Listones 5x5x5	Unidad	30
5	Invergril	Bolsas	15
6	Puntillas 3”	Libras	3
7	Material Mixto	Metro Cúbicos	6
Ítem	Herramienta	Unidad	Cantidad
1	Palas	Unidad	4
2	SERRUCHO	Unidad	1
3	Segueta	Unidad	1
4	Martillo	Unidad	1
5	Valdés plásticos	Unidad	3
6	Carretilla	Unidad	1
7	Viche roque	Unidad	3
Ítem	Equipos	Unidad	Total
1	Volqueta	Unidad	1
2	Pulidora	Unidad	1

*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 23.** Retiro de las estructuras metálicas



*Fuente.* Autoría Propia.

Todas las cubiertas metálicas se eliminan reemplazándolas por cubiertas en concreto.

**Tabla 13.** Vista general después del mantenimiento

Antes



Después



Antes



Después

*Fuente.* Autoría Propia.

La planta se encuentra actualmente operativa, a la fecha se conocen las medidas de control de calidad del agua purificada realizadas por un laboratorio debidamente certificado, por lo que se conoce la efectividad de la remoción de cargas contaminantes. Por lo tanto, los resultados registrados no cumplen con la Resolución 0631 del 2015, que establece los parámetros y valores límite máximos permisibles en descargas específicas de cuerpos de agua superficiales.

### Identificación de Puntos de Vertimiento de Aguas Residuales

Se identificó (1) vertimiento correspondiente al alcantarillado del centro poblado El Toro según visita de campo. A continuación, se describe:

**Tabla 14.** *Vertimiento red de alcantarillado El Toro*

No	Descripción del Vertimiento	Sector Aferente	Descarga	Coordenadas	
				Norte	Este
1	Vertimiento No. 1	Centro poblado <b>El toro</b>	Caño Guaroa	03°47'0.30"	73°23'59.5"

*Fuente.* Autoría Propia.

**Figura 24.** *Punto de Vertimiento – Centro Poblado El Toro*



*Fuente.* Autoría Propia.

### Caracterización Físicoquímica de la Corriente y Punto de Descarga

La Resolución No 2.6.06.1051 del 29 de diciembre de 2006 aprobó el Plan de Manejo del Río Metica y definió los objetivos de calidad del agua fijados para la cuenca por la Organización para el Desarrollo Sostenible del Área de Tratamiento Especial La Macarena.

Las muestras de agua y análisis de laboratorio fueron realizadas por el Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S, acreditado por el IDEAM, según Resolución No 1172 del 9 de junio de 2016, según los lineamientos NTC/ISO/IEC 17025:2005. Los parámetros fueron

analizados según la Resolución 631 2015, art. 8 según guía de aguas residuales domésticas con una carga máxima de 625,00 kg/día DBO5.

Se tomaron muestras compuestas y puntuales (Tabla 15). Los resultados de los análisis mencionados pueden ser consultados en el Anexo No 2.

**Tabla 15.** *Análisis del laboratorio*

Centro Poblado	No. De Habitante	Tipo de Alcantarillado Existente	Fuente Receptora	Ensayo de Laboratorio
El Toro	235 Hab	Sanitario y pluvial	Caño Guaroa	Caracterización puntual aguas arriba. Caracterización compuesta 24 horas. Caracterización puntual aguas abajo.

*Fuente.* Autoría Propia.

### **Monitoreo de Agua Residual Doméstica El Toro**

Utilizando sistemas de muestreo estandarizados, verificar los parámetros físico-químicos (efluente, DBO-5, DQO, grasas y aceites, material flotante, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y temperatura) en la entrada y salida del sistema de tratamiento. Con base en los resultados obtenidos durante el monitoreo de aguas residuales urbanas, conocer en qué condiciones se realiza el vertido del sistema de tratamiento de Vereda **El Toro** operado por Aguas de Castilla S.A.S ESP. Actualmente se encuentra ubicado en el municipio de Castilla La Nueva.

## **Metodología**

El muestreo se realizó el día 8 de marzo de 2022, a partir de las 8:00 a.m. en los puntos de entrada y salida del sistema de tratamiento, tomando un total de veinticuatro (24) alícuotas en cada punto de muestreo de la planta de tratamiento de aguas residuales con un intervalo de sesenta (60) minutos entre cada muestra individual. Se realizó un muestreo de los parámetros físico-químicos a analizar en laboratorio de acuerdo al plan de monitoreo No. 82-2022 y las recomendaciones de la **Norma APHA con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2017**, de la siguiente forma:

### ***Toma de Muestras***

Se realizó una muestra de los parámetros físico-químicos analizados en laboratorio según el plan de monitoreo No. 211 - 2023 y **las recomendaciones de la APHA con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Ed. 23**, de la siguiente forma:

Para el análisis de muestras individuales se tomaron muestras específicas para el análisis de los siguientes parámetros para obtener una muestra representativa de la composición del cuerpo de agua según el lugar, tiempo y condiciones específicas de su recolección: sólidos sedimentables. Grasas y aceites, Hidratos de Carbono, pH, Temperatura.

Para la muestra compuesta se tomaron entre las 07:00 a.m. para evaluar el impacto de erupciones y actividades variables o irregulares. y 7:10 am Se recolectan hasta un total de veinticuatro (24) alícuotas tanto para el inicio como para la finalización de la terapia. Cada sesenta (60) minutos se realizó una combinación de muestras simples o especiales tomadas en los puntos de muestreo.

**Figura 25.** Toma de muestras



*Fuente.* Autoría Propia.

Las muestras individuales se combinaron en cantidades proporcionales al caudal medido en el momento de la recolección respectiva. En este caso, el volumen final de muestra en la entrada y salida del tratamiento fue de 4000 ml. el muestreo se realizó manualmente.

### ***Puntos de Muestreo***

Se tuvo en cuenta para el muestreo los puntos de Entrada del tratamiento y Salida del tratamiento, los cuales se muestran a continuación con su respectiva georreferencia:

**Tabla 16.** Punto de muestreo

Entrada PTARD T.A 47251	Salida PTARD T.A 47252
-------------------------	------------------------



N: 03°47'02,1" W: 73°24'00,3"

**Entrada PTARD T.A 47251**



N: 03°47'01,3" W: 73°24'00,1"

**Salida PTARD T.A 47252**



N: 03°47'02,1" W: 73°24'00,3"

**Aguas Abajo del Vertimiento T.A 47249**



N: 03°46'57,0" W: 73°24'00,1"

**Aguas Arriba del Vertimiento T.A 47250**



N: 03°47'00,3" W: 73°23'58,0"



N: 03°46'57,0" W: 73°24'00,1"

*Fuente. Autoría Propia.*



### ***Medición de Caudal Puntos de Entrada y Salida del Sistema***

Durante las fases de entrada y salida del tratamiento se utilizó en la bobina una velocidad específica de zona, que consiste en medir el ancho del tramo tomando distancias en cada punto. Mida la altura de la capa de agua (h) desde el centro de cada tira. Coloque el rodillo a la altura adecuada según el nivel del agua subterránea y mida el número de revoluciones en 40 segundos. La unidad de medida es el caudal y se expresa en litros por segundo (L/s). Se tomaron muestras agregadas a partir de las 08:00 horas para evaluar los efectos de emisiones y actividades variables o irregulares. Se recolectan hasta un total de veinticuatro (24) alícuotas tanto para el

inicio como para la finalización del tratamiento. Cada sesenta (60) minutos se realizó una combinación de muestras simples o especiales tomadas en los puntos de muestreo. Las muestras individuales se combinaron en cantidades proporcionales al caudal medido en el momento de la recolección respectiva. En este caso, el volumen final de muestra en la entrada y salida del tratamiento fue de 4000 ml, el muestreo se realizó manualmente.

Se tuvo en cuenta para el muestreo los puntos de entrada del tratamiento y salida del tratamiento, los cuales se muestran a continuación con su respectiva georreferencia:

**Tabla 17.** *Punto de entrada y salida del tratamiento*

Entrada al Tratamiento	Salida del Tratamiento
	
N: 03°47'02,2" W: 73°24'00,0"	N: 03°47'01,6" W: 73°23'59,8"

*Fuente.* Autoría Propia.

Como entrada y salida del tratamiento se utilizó el método del volumen, el cual determina el tiempo necesario para llenar un determinado volumen. La unidad de medida es el caudal y se expresa en litros por segundo (L/s).

A su vez, se presentan los datos relacionados con el monitoreo realizado entre los días 14 y 15 de junio del año 2023.

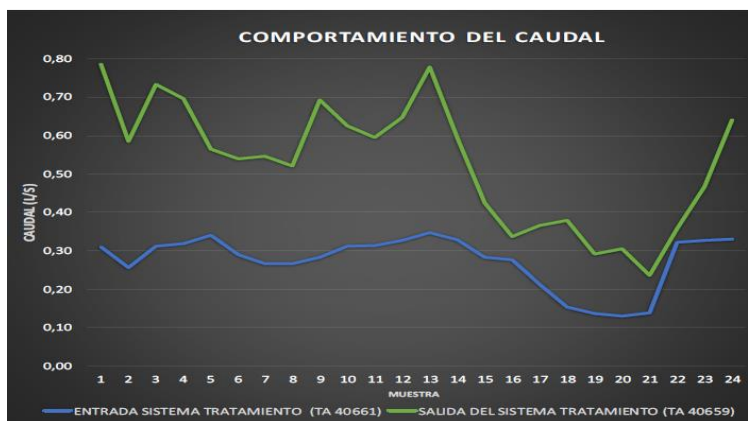
**Tabla 18.** Caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento y alícuotas para composición de la muestra

Muestra No.	Hora	Entrada al Sistema TA 43002		Salida del Sistema TA 43003	
		Caudal (L/s)	Volumen de Alícuota (mL)	Caudal (L/s)	Volumen de Alícuota (mL)
1	8:00 am	0,310	141	0,786	185
2	9:00 am	0,257	117	0,586	138
3	10:00 am	0,311	142	0,733	173
4	11:00 am	0,320	146	0,696	164
5	12:00 pm	0,341	155	0,565	133
6	1:00 pm	0,290	132	0,539	127
7	2:00 pm	0,267	122	0,547	129
8	3:00 pm	0,266	121	0,522	123
9	4:00 pm	0,283	129	0,692	163
10	5:00 pm	0,312	142	0,626	148
11	6:00 pm	0,313	143	0,596	141
12	7:00 pm	0,327	149	0,648	153
13	8:00 pm	0,348	159	0,780	184
14	9:00 pm	0,328	150	0,595	140
15	10:00 pm	0,283	129	0,425	100
16	11:00 pm	0,277	126	0,337	80
17	12:00 am	0,213	97	0,367	86
18	1:00 am	0,154	70	0,380	90
19	2:00 am	0,137	62	0,292	69
20	3:00 am	0,130	59	0,305	72
21	4:00 am	0,138	63	0,236	56
22	5:00 am	0,321	146	0,358	85
23	6:00 am	0,327	149	0,467	110
24	7:00 am	0,331	151	0,640	151
<b>Suma</b>		6,584		12,718	
<b>Promedio</b>		0,274	3000	0,530	3000

<b>Máximo</b>	0,348	0,786
<b>Mínimo</b>	0,130	0,236

Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

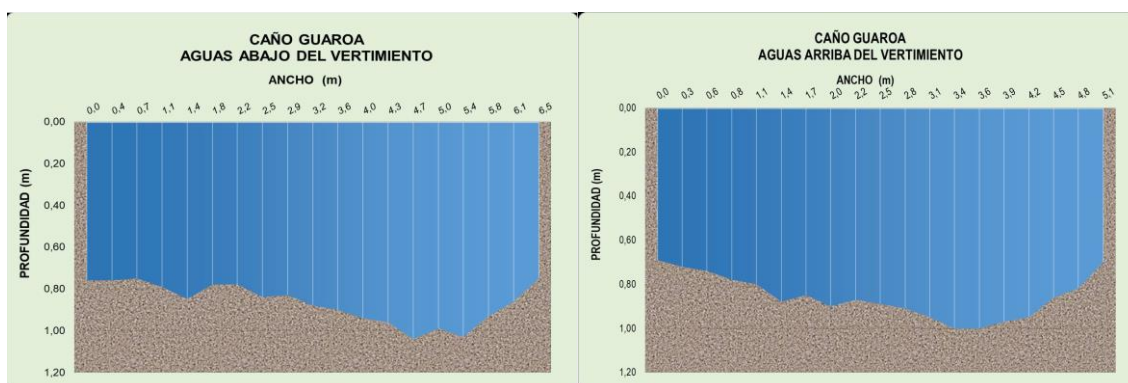
**Figura 26.** Comportamiento del caudal a la salida del sistema de tratamiento durante el muestreo



Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Aguas Abajo del vertimiento donde la medición del caudal arrojó un valor de 1480,94 L/s. Mientras que aguas arriba del vertimiento la medición del caudal arrojó un valor de 1372,95 L/s.

**Figura 27.** Perfil de la fuente aguas arriba del vertimiento



Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Tabla 19. Tabla de resultados aguas arriba y aguas abajo. Parte 1

AFOROS DE FUENTE SUPERFICIAL CAÑO GUAROA													
FUENTE: CAÑO GUAROA										ESTACION: AGUAS ABAJO DEL VERTIMIENTO		Fecha: 14 de Junio de 2023	
LECTURA DE ESCALA		INICIAL: 0,00		FINAL: 0,00		HORA: 10:35 a.m.		HORA: 11:05 a.m.		FLUVIOMETRO: .....M. DESCARGA: .....1,481 m <sup>3</sup> /seg. VELOCIDAD MEDIA: .....0,262 m/seg. AREA: .....6,656 m <sup>2</sup> ECUACION: V=0,260*H+0,012			
CORRECTOMETRO:		TIPO: AOTT		No. 6577		VADEO		BOTE					
MENSURA POR:		CABLE		PUENTE		VADEO		BOTE					
SUSPENSION:		VARILLA		CABLE		SITIO AFORO		AGUAS ABAJO DEL VERTIMIENTO					
						COORDENADAS		N:03°40'03.3" W:73°23'56.0"					
ABSCISA m	PROF m	DISEÑO	PROF. DE LA ORS m	REVOLUCION No.	TIEMPO seg.	N. R/seg.	VELOCIDAD EN EL PUNTO m/seg.	MEDIA EN LA VERTIC.	AREA m <sup>2</sup>	PROF. MEDIA m	ANCHO m	DESCARGAS PARCIALES m <sup>3</sup> /seg.	
ORILLA		1	0,15	0	40	0,00	0,000	0,00					
0,00	0,76	2	0,61	0	40	0,00	0,000		0,133	0,274	0,76	0,4	0,0363
0,36	0,76	1	0,15	40	40	1,00	0,272	0,27	0,272	0,272	0,76	0,4	0,0739
		2	0,61	38	40	0,95	0,259						
0,72	0,75	1	0,15	43	40	1,08	0,292	0,28	0,283	0,277	0,77	0,4	0,0786
				39	40	0,98	0,266						
1,08	0,79	1	0,16	45	40	1,13	0,305	0,29	0,270	0,295	0,82	0,4	0,0798
		2	0,63	40	40	1,00	0,272						
1,44	0,85	1	0,17	38	40	0,95	0,259	0,25	0,269	0,293	0,82	0,4	0,0789
		2	0,68	36	40	0,90	0,246						
1,80	0,78	1	0,16	44	40	1,10	0,298	0,29	0,282	0,281	0,78	0,4	0,0791
		2	0,62	40	40	1,00	0,272						
2,16	0,78	1	0,16	43	40	1,08	0,292	0,28	0,275	0,292	0,81	0,4	0,0803
		2	0,62	39	40	0,98	0,266						
2,52	0,84	1	0,17	41	40	1,03	0,279	0,27	0,279	0,301	0,84	0,4	0,0837
		2	0,67	39	40	0,98	0,266						
2,88	0,83	1	0,17	44	40	1,10	0,298	0,29	0,280	0,308	0,86	0,4	0,0862
		2	0,66	40	40	1,00	0,272						
3,24	0,88	1	0,18	42	40	1,05	0,285	0,28	0,275	0,320	0,89	0,4	0,0882
		2	0,70	39	40	0,98	0,266						
3,60	0,90	1	0,18	43	40	1,08	0,292	0,28	0,277	0,331	0,92	0,4	0,0917
		2	0,72	38	40	0,95	0,259						
3,96	0,94	1	0,19	43	40	1,08	0,292	0,28	0,282	0,342	0,95	0,4	0,0964
		2	0,75	39	40	0,98	0,266						
4,32	0,96	1	0,19	44	40	1,10	0,298	0,29	0,292	0,360	1,00	0,4	0,1049
		2	0,77	40	40	1,00	0,272						
4,68	1,04	1	0,21	46	40	1,15	0,311	0,30	0,301	0,365	1,02	0,4	0,1101
		2	0,83	42	40	1,05	0,285						
5,04	0,99	1	0,20	47	40	1,18	0,318	0,30	0,280	0,364	1,01	0,4	0,1019
		2	0,79	43	40	1,08	0,292						
5,40	1,03	1	0,21	40	40	1,00	0,272	0,26	0,262	0,353	0,98	0,4	0,0925
		2	0,82	35	40	0,88	0,240						
5,76	0,93	1	0,19	40	40	1,00	0,272	0,27	0,254	0,322	0,90	0,4	0,0819
		2	0,74	39	40	0,98	0,266						
6,12	0,86	1	0,17	37	40	0,93	0,253	0,24	0,120	0,306	0,81	0,4	0,0366
		2	0,69	33	40	0,83	0,227						
6,50	0,75	1	0,15	0	40	0,00	0,000	0,00					
		2	0,60	0	40	0,00	0,000						
TOTALES									0,262	6,656	0,870	8,6	1,481
OBSERVADOR		Edwin Rodriguez				CALCULISTA		Juan Matias					
TF0173/REV/1													

Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Tabla 20. Tabla de resultados aguas arriba y aguas abajo. Parte 2

AFOROS DE FUENTE SUPERFICIAL CAÑO GUAROA													
FUENTE: <u>CAÑO GUAROA</u> ESTACION: <u>AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO</u> Fecha: <u>14 de junio de 2023</u>										TA <u>47260</u>			
LECTURA DE ESCALA		INICIAL: <u>0.00</u>		HORA: <u>12:20 p. m.</u>		FLUVIOMETRO: <u>-----</u> M		DESCARGA: <u>1.373 m³/seg.</u>		VELOCIDAD MEDIA: <u>0.311 m/seg.</u>		AREA: <u>4.409 m²</u>	
		FINAL: <u>0.00</u>		HORA: <u>12:40 p. m.</u>						EQUACION: <u>V=0.260*H+ 0.012</u>			
CORRECTOMETRO: TIPO: <u>ACTT</u> No. <u>6577</u>		MENSURA POR: CABLE <input type="checkbox"/> PUENTE <input type="checkbox"/> VADEO <input checked="" type="checkbox"/> BOTE <input type="checkbox"/>		SUSPENSION: VARILLA <input checked="" type="checkbox"/> CABLE <input type="checkbox"/>		SITIO AFORO: <u>AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO</u>		COORDENADAS: <u>N:03°45'57.6" W:73°24'09.1"</u>					
ABSCISA m	PROF m	O B E	PROF. DE LA OSS m	REVOLUCION No.	TIEMP O seg	N. R/seg.	VELOCIDAD m/seg.		MEDIA EN LA SECCION	AREA m²	PROF. MEDIA m	ANCHO m	DESCARGAS PARCIALES m³/seg.
							EN EL PUNTO	MEDIA EN LA VERTIC.					
ORILLA	0,00	1	0.14	0	40	0.00	0.000		0.00				
		2	0.55	0	40	0.00	0.000						
0,28	0,72	1	0.14	45	40	1.13	0.305	0.29	0.144	0.197	0.71	0.3	0.0285
		2	0.58	40	40	1.00	0.272		0.296	0.204	0.73	0.3	0.0606
0,56	0,74	1	0.15	46	40	1.15	0.311	0.30	0.314	0.213	0.76	0.3	0.0669
		2	0.59	44	40	1.10	0.298		0.327	0.221	0.79	0.3	0.0724
0,84	0,78	1	0.16	50	40	1.25	0.337	0.32	0.332	0.235	0.84	0.3	0.0781
		2	0.62	46	40	1.15	0.311		0.326	0.242	0.87	0.3	0.0789
1,12	0,80	1	0.16	50	40	1.25	0.337	0.33	0.324	0.235	0.84	0.3	0.0781
		2	0.64	48	40	1.20	0.324		0.326	0.242	0.87	0.3	0.0789
1,40	0,88	1	0.18	51	40	1.28	0.344	0.33	0.324	0.235	0.84	0.3	0.0781
		2	0.70	48	40	1.20	0.324		0.326	0.242	0.87	0.3	0.0789
1,68	0,85	1	0.17	49	40	1.23	0.331	0.32	0.331	0.245	0.88	0.3	0.0794
		2	0.68	45	40	1.13	0.305		0.324	0.245	0.88	0.3	0.0794
1,96	0,90	1	0.18	50	40	1.25	0.337	0.33	0.334	0.248	0.89	0.3	0.0827
		2	0.72	48	40	1.20	0.324		0.334	0.248	0.89	0.3	0.0827
2,24	0,87	1	0.17	52	40	1.30	0.350	0.34	0.348	0.246	0.88	0.3	0.0858
		2	0.70	48	40	1.20	0.324		0.350	0.252	0.90	0.3	0.0882
2,52	0,89	1	0.18	56	40	1.40	0.376	0.36	0.348	0.246	0.88	0.3	0.0858
		2	0.71	51	40	1.28	0.344		0.350	0.252	0.90	0.3	0.0882
2,80	0,91	1	0.18	53	40	1.33	0.357	0.34	0.348	0.260	0.93	0.3	0.0907
		2	0.73	48	40	1.20	0.324		0.348	0.260	0.93	0.3	0.0907
3,08	0,95	1	0.19	55	40	1.40	0.376	0.36	0.347	0.273	0.98	0.3	0.0947
		2	0.76	50	40	1.25	0.337		0.335	0.280	1.00	0.3	0.0939
3,36	1,00	1	0.20	52	40	1.30	0.350	0.34	0.335	0.280	1.00	0.3	0.0939
		2	0.80	48	40	1.20	0.324		0.345	0.276	0.99	0.3	0.0952
3,64	1,00	1	0.20	53	40	1.33	0.357	0.33	0.345	0.276	0.99	0.3	0.0952
		2	0.80	45	40	1.15	0.311		0.335	0.269	0.96	0.3	0.0901
3,92	0,97	1	0.19	55	40	1.40	0.376	0.36	0.335	0.269	0.96	0.3	0.0901
		2	0.78	50	40	1.25	0.337		0.311	0.253	0.91	0.3	0.0788
4,20	0,95	1	0.19	49	40	1.33	0.357	0.31	0.311	0.253	0.91	0.3	0.0788
		2	0.75	44	40	1.10	0.298		0.300	0.235	0.84	0.3	0.0705
4,48	0,86	1	0.17	47	40	1.18	0.318	0.31	0.300	0.235	0.84	0.3	0.0705
		2	0.69	44	40	1.10	0.298		0.146	0.258	0.76	0.3	0.0377
4,76	0,82	1	0.16	45	40	1.13	0.305	0.29					
		2	0.68	41	40	1.05	0.275						
5,10	0,70	1	0.14	0	40	0.00	0.000	0.00					
		2	0.55	0	40	0.00	0.000						
TOTALES									0,311	4,409	0,866	5,1	1,373
OBSERVADOR		<u>Edwin Rodriguez</u>				CALCULISTA		<u>Juan Matias</u>					
TF0173REV01													

Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

## Aspectos Fisicoquímicos y Mediciones *In Situ*

Para los análisis físico-químicos se realizaron mediciones in situ y se tomaron muestras para análisis en laboratorio.

**Figura 28.** *Medición del pH con el potenciómetro EQL 370 y medición de temperatura con el termómetro EQL 374*



Fuente. Autoría Propia.

En la Tabla 21, se muestran los valores de los parámetros medidos en campo para cada alícuota utilizada en la composición de muestras para el punto de salida del sistema de tratamiento.

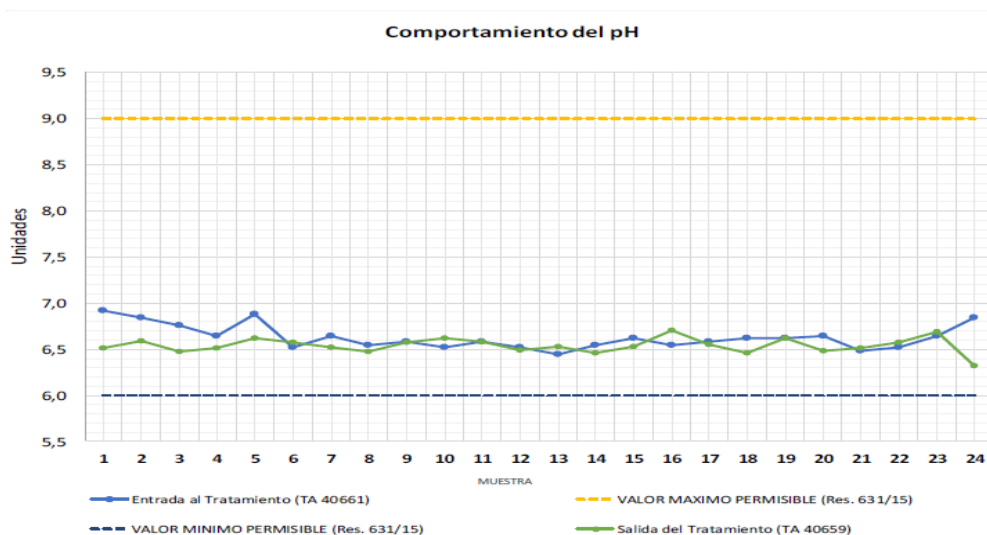
**Tabla 21.** *Resultados de los parámetros de campo*

Muestra No.	Hora	Entrada al Sistema TA 43002			Salida del Sistema TA 43003		
		pH (UN)	Temperatura (°C)	Sólidos Sedimentables (mL/L)	pH (UN)	Temperatura (°C)	Sólidos Sedimentables (mL/L)
1	8:00 am	6,92	24,5	0,5	6,51	25,2	0,5
2	9:00 am	6,84	25,4	0,4	6,59	25,3	0,4
3	10:00 am	6,76	25,2	0,3	6,47	25,4	0,5
4	11:00 am	6,64	24,8	0,4	6,51	25,5	0,6
5	12:00 pm	6,88	24,9	0,3	6,62	25,4	0,4

6	1:00 pm	6,52	25,9	0,4	6,57	25,6	0,3
7	2:00 pm	6,64	26,4	0,5	6,52	25,7	0,5
8	3:00 pm	6,52	26,9	0,6	6,47	25,6	0,5
9	4:00 pm	6,58	26,8	0,5	6,57	25,7	0,5
10	5:00 pm	6,52	26,9	0,4	6,62	25,5	0,4
11	6:00 pm	6,58	26,7	0,3	6,58	25,6	0,5
12	7:00 pm	6,52	26,9	0,4	6,49	25,8	0,6
13	8:00 pm	6,44	26,8	0,4	6,53	25,7	0,5
14	9:00 pm	6,54	25,4	0,5	6,46	25,7	0,4
15	10:00 pm	6,62	24,8	0,3	6,53	25,4	0,4
16	11:00 pm	6,54	24,7	0,2	6,70	25,5	0,5
17	12:00 am	6,58	24,9	0,3	6,55	25,3	0,6
18	1:00 am	6,62	25,0	0,3	6,46	25,3	0,5
19	2:00 am	6,62	24,8	0,2	6,62	25,2	0,4
20	3:00 am	6,64	24,9	0,4	6,48	25,0	0,4
21	4:00 am	6,48	24,8	0,6	6,51	25,0	0,4
22	5:00 am	6,52	25,4	0,5	6,57	24,8	0,5
23	6:00 am	6,64	25,8	0,5	6,69	25,1	0,3
24	7:00 am	6,84	25,9	0,4	6,32	24,9	0,5
<b>Máximo</b>		6,92	25,9	0,6	6,70	25,8	0,6
<b>Mínimo</b>		6,44	24,5	0,2	6,32	24,8	0,3

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Los valores de pH de la entrada del sistema de tratamiento variaron entre 6.44 y 6.92 unidades, registrándose 6, 32 y 6.70 unidades para la Salida STAR. En cuanto a la temperatura, a la entrada del sistema de procesamiento varió entre 24.5 y 26.9 °C, el valor medido a la salida del STAR fue de 24.8 a 25.8 °C. La Figura 31 muestra el comportamiento del pH durante el monitoreo, medido para cada alícuota.

**Figura 29.** Comportamiento del pH durante el monitoreo

Fuente. Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

### Comparación de Resultados con la Resolución 631 de 2015

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los resultados obtenidos en el monitoreo y su respectiva comparación con la norma ambiental para vertimientos a cuerpos de agua, Resolución 631 de 2015, Artículo 8.

**Tabla 22.** Comparación de resultados frente a la Resolución 631 de 2015

Parámetro	Unidad	Valor Máximo Permissible	Salida del Tratamiento TA 43003	Cumple
<b>DBO5</b>	mg O <sub>2</sub> /L	90	37	Si
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	180	50	Si
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	20	8,9	Si
<b>Material Flotante</b>	Ausencia / Presencia	N. E	Presencia	--
<b>pH</b>	UN	6,0 – 9,0	6,32 a 6,70	Si

<b>Sólidos</b>	mL/L	5,0	0,3 a 0,6	Si
<b>Sedimentables</b>				
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	90,0	44	Si
<b>Totales</b>				
<b>Temperatura</b>	°C	40	24,8 a 25,8	Si

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

Los resultados se comparan con el artículo 8 de la Resolución 631/15. Como se mencionó, el punto de partida corresponde a los valores máximos permitidos para todos los parámetros.

## **Situación de la Empresa**

LA Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Castilla La Nueva Aguas de Castilla S.A ESP fue constituida por Notaría Única de Acacias No 0004581 del 19 de diciembre de 2008 e inscrita el 29 de diciembre de 2008 bajo el No 00031704. Libro IX. Resolución No 452 de 9 de diciembre de 2008 “Se reconoce en el municipio de Castilla-Nueva el Comité para el Desarrollo de los Servicios Domésticos y el Control Social.

En materia de subsidios, el municipio de Castilla cuenta con el Fondo de Solidaridad y Participación Ingresiva del FSRI, el cual fue creado mediante Acuerdo Municipal No 044 del 21 de noviembre de 2000 y Acuerdo No 002 de 11 de enero de 2000. En 2017, los porcentajes. Se definen las subvenciones y pagos solidarios del FSRI de la Comunidad de Castilla-Nueva para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo- Objetivo para los años 2017-2021.

### **Misión**

Según Aguas de Castilla S.A ESP (2017) la empresa brinda servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo confiables y de alta calidad con un equipo dedicado a la protección del medio ambiente. y satisfacer las necesidades de los clientes del municipio de Castilla la Nueva.

### **Visión**

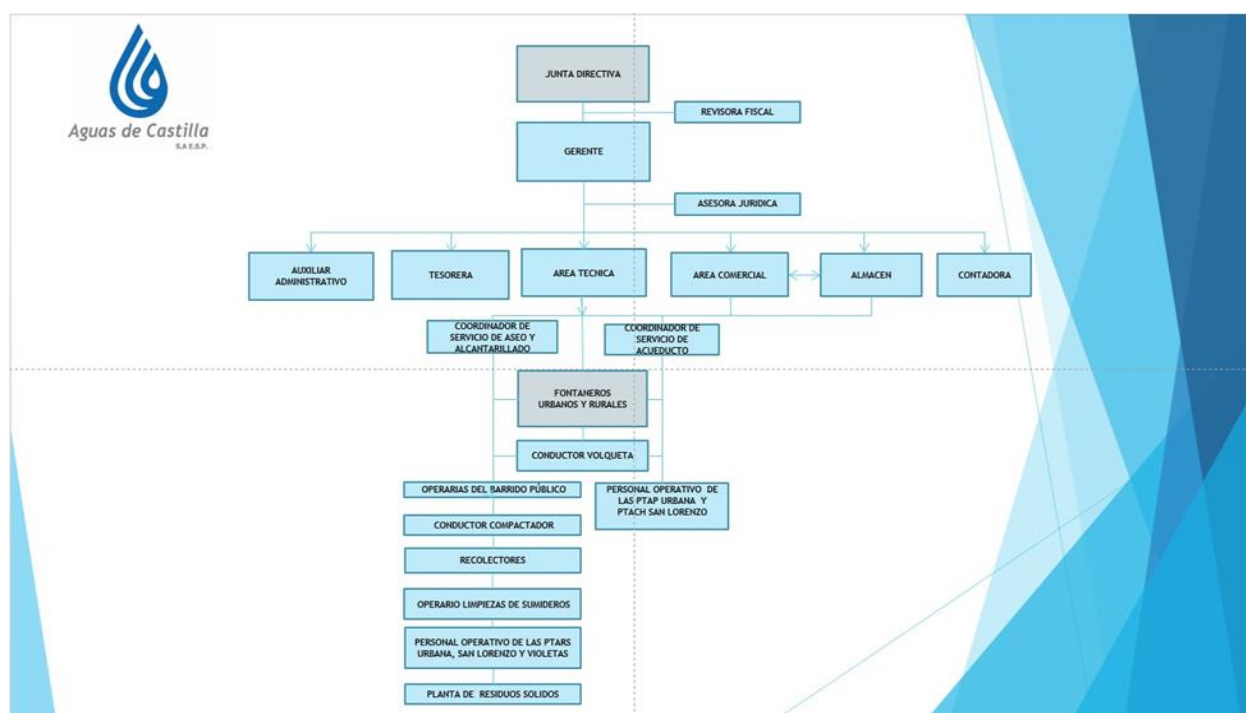
Para el año 2020, Aguas de Castilla S.A. ESP es una empresa reconocida por los buenos servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, como entidad responsable con sus clientes y empleados, que lidera los procesos de desarrollo sustentable, amplía el área de operación a una

nueva cobertura, comprometida con el cambio de la cultura ambiental. seguridad y salud en el trabajo a través de instituciones de capacitación y desarrollo.

### Estructura Administrativa

La empresa de servicios públicos Aguas de Castilla S.A ESP sigue un plan organizativo caracterizado por una estructura plana, en la que las funciones están claramente separadas por regiones según la siguiente estructura:

**Figura 30.** Estructura administrativa de la empresa



Fuente. Aguas de Castilla S.A ESP, 2017.

## Recurso Humano

Aguas de Castilla S.A ESP, empresa de servicios públicos, cuenta con el siguiente recurso humano para la gestión y operación de los servicios públicos de agua, alcantarillado y saneamiento domiciliario:

**Tabla 23.** *Recurso humano de la empresa*

<b>Área / Servicio</b>	<b>No. De Empleados</b>
Empleados Operativos Servicio de Alcantarillado y Acueducto	26
Empleados Operativos de aseo	9
Empleados Administrativos	9
<b>Total</b>	<b>44</b>

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, 2017.

## **Análisis y Selección de Alternativas**

Luego de realizado el diagnóstico técnico, la empresa Aguas de Castilla S.A ESP Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios requiere un análisis de alternativas que permitan definir actividades encaminadas a reducir la carga contaminante de acuerdo a los objetivos de calidad del agua. Por ello, la empresa Aguas De Castilla S.A. ESP Esto crea dificultades financieras, por lo que no fue posible realizar el mantenimiento general de los sistemas de alcantarillado "El Toro". Para mantener LA fuente de agua del caño Guaroa funcionando perfectamente. De acuerdo a los requerimientos de entes de control como "CORMACARENA" en los diversos proyectos y/o programas tramitados para permitir la emisión y renovación de permisos para la recolección y disposición de aguas residuales y acueductos o vertidos a fuentes terrestres entre otros programas y proyectos (Aguas de Castilla S.A ESP, 2017).

## **Formulación y Evaluación de Alternativas**

Con el fin de identificar y priorizar estrategias a partir de un análisis de consecuencias, se proponen las siguientes opciones para satisfacer las necesidades de Aguas de Castilla S.A ESP en términos de limpieza de emisiones y cumplimiento de la normatividad del sector. Se propusieron mejoras en la infraestructura y mantenimiento de la infraestructura general en los distintos procesos de la planta para que todo el proceso se pudiera llevar a cabo bien.

### ***Ejecutar las Mejoras y Actividades Necesarias que Garanticen el Funcionamiento de la PTAR Pueblo El Toro en el Corto, Mediano y Largo Plazo***

En el centro poblado hay una planta depuradora municipal de aguas residuales: la PTAR El Toro. La mencionada instalación se encuentra en funcionamiento, pero además de un

seguimiento continuo, se requiere un mantenimiento general de cada módulo, que asegure la efectividad en la eliminación de cargas contaminantes y evaluar el cumplimiento de los requisitos ambientales vigentes (Aguas de Castilla S.A ESP, 2017).

***Programar y llevar registros anuales de mantenimientos preventivos y correctivos de los diferentes elementos que integran los sistemas de alcantarillado Sanitario y Pluvial, así como de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Toro***

Si bien el centro poblado de El Toro cuenta con infraestructura adecuada para recolectar, transportar y tratar las aguas residuales municipales, se requieren registros de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar su continuidad y calidad. servicio público de alcantarillado. Considerando las dimensiones de los sistemas, así como la ubicación del centro y las distancias del centro municipal, el mantenimiento se realiza de forma manual según cronograma de trabajo con el personal operativo disponible. Las compuertas metálicas de la planta tratamiento de El Toro deberán ser reemplazadas por compuertas exteriores especiales visibles en cada módulo de tratamiento. Esta actividad se considera mantenimiento correctivo debido a su visible nivel de desgaste (Aguas de Castilla S.A ESP, 2017).

***Validación y Selección de Alternativas***

En esta etapa, la elección de alternativas se basa en los siguientes criterios de análisis:

- Respeto a las metas y objetivos fijados en el PSMV.
- Condiciones técnicas especiales
- Cumplimiento de requisitos y lineamientos regulatorios.
- Impacto social de las estrategias propuestas.

- Viabilidad institucional en términos de la capacidad administrativa y financiera necesaria para implementar el PSMV o sus programas.

**Tabla 24.** *Análisis costo-beneficio de las estrategias planteadas*

Alternativas	CRITERIOS					
	Cumplimiento metas y objetivos	Condiciones técnicas	Cumplimiento de requerimientos normativos	Impacto social	Viabilidad institucional	Análisis costo / beneficio
Identificación de conexiones erradas de aguas lluvias conectadas a la red de alcantarillado sanitario	Orientada al cumplimiento del Objetivo.	Se garantiza el adecuado funcionamiento de la PTAR.	Resolución MVCT No 0330 de 2017, RAS 2017.	En el largo plazo es posible un cambio cultural frente a la responsabilidad en el uso de la infraestructura de servicios públicos.	Administración y operación del tratamiento, conforme a las condiciones técnicas de diseño. La empresa Aguas de Castilla cuenta con personal técnico suficiente para la ejecución de esta actividad.	Requiere un trabajo de campo detallado (casa a casa). /Se reducen las cantidades de agua residual tratada y por ende los costos asociados al funcionamiento de la PTAR.
Ejecutar las mejoras y actividades necesarias que garanticen el	Orientada al cumplimiento del Objetivo.	Requiere desplazamiento del Los vehículos hasta el	Se garantiza un adecuado funcionamiento de la PTAR, Reducción de cargas	La población del centro poblado no se ve afectada por la ubicación y/o	Cumplimiento de compromisos asumidos, tras requerimientos hechos por CORMACARE NA.	No Requiere de una inversión considerable asociada al desplazamiento de los

---

funcionamien	centro	contaminante	funcionamie	vehículo
to de la	poblado.	s.	nto de la	hasta el
PTAR		Cumplimient	PTAR.	centro
Pueblo		o de los		poblado. /
Nuevo en el		objetivos de		Con el
corto,		calidad de la		adecuado
mediano y		cuenca del		funcionamie
largo plazo		río Metica.		nto de la
				PTAR se
				garantiza el
				cumplimient
				o de las
				metas de
				reducción de
				cargas
				contaminante
				s y de los
				objetivos de
				calidad de la
				cuenca,
				por lo que se
				reducen los
				valores
				facturados
				por concepto
				de tasas
				retributivas y
				demás
				multas y
				sanciones.

---

Programar y llevar registros anuales de mantenimientos preventivos y correctivos de los diferentes elementos que integran los sistemas de alcantarillado Sanitario y Pluvial, así como de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Toro	Orientada al cumplimiento del Objetivo.	Se cuenta con personal operativo disponible para la operación de los sistemas del Centro poblado.	Resolución MVCT No 0330 de 2017, RAS 2017.	Mejoras en condiciones de prestación del servicio de alcantarillado en términos de calidad y continuidad.	Mejoras en condiciones de prestación del servicio de alcantarillado en términos de calidad y continuidad.	Se requiere una adecuada coordinación técnico-operativa para la optimización de tiempos y recursos / Garantiza la efectiva operación de los sistemas de alcantarillado .
---	---	---	--	---	---	--

*Fuente.* Aguas de Castilla S.A ESP, 2017.

En la matriz de validación y selección de alternativas se pueden observar condiciones favorables para la implementación de las estrategias propuestas por Aguas de Castilla S.A. ESP especialmente Se destacan las condiciones negativas relacionadas con el diagnóstico general de la PTAR El Toro, pero desde el punto de vista ambiental y de cumplimiento legal, se considera un proyecto importante que puede reducir efectivamente el impacto generado por los vertimientos sobre el caño Guaroa, afluente del río Mética. De esta manera se logra el objetivo general del PSMV (Aguas de Castilla S.A ESP, 2017).

## Proyecciones de Carga Contaminante

El análisis determina la carga contaminante generada, recogida, transportada y procesada por las emisiones detectadas en la fase de diagnóstico a corto plazo, desde la presentación del PSMV hasta el segundo año, así como en el medio plazo (calculado de 2 a 5 años) y en el largo plazo (calculado de 5 a 10 años). Este cálculo se realiza considerando los parámetros del porcentaje de compensación como punto de partida para calcular la previsión, especialmente la DBO5 y los SST. La recopilación incluye los promedios de las cargas contaminantes que pueden ser monitoreadas a lo largo del año, con fecha de los monitoreos realizados el 14 de junio de 2023.

**Tabla 25.** *Proyección de la carga contaminante DBO y SST*

<b>PROYECCION DE LA CARGA CONTAMINANTE DBO Y SST</b>	
Vertimiento No. 1	PTAR El Toro
Nombre Fuente Receptora	Caño Guaroa
<b>ANTES DEL TRATAMIENTO</b>	
Caudal (L/s)	0.18
Concentración DBO (mg/l)	221
Concentración SST (mg/l)	51
Producción per cápita de carga contaminante DBO <sub>5</sub> (kg/Hab/día)	0.0153
Producción per cápita de carga contaminante SST (kg/Hab/día)	0.0035
<b>DESPUÉS DEL TRATAMIENTO</b>	
Caudal (L/s)	0.13
Concentración DBO (mg/l)	60
Concentración SST (mg/l)	34.5
Producción per cápita de carga contaminante DBO <sub>5</sub> (kg/Hab/día)	0.0030
Producción per cápita de carga contaminante SST (kg/Hab/día)	0.0017

*Fuente.* Resultados obtenidos por Laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S

## Discusión

La empresa Aguas De Castilla S.A. E.S.P. opera plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en zonas urbanas y rurales, con el objetivo de cumplir con los requisitos mínimos establecidos por el reglamento técnico de saneamiento básico RAS. Estas descargas deben cumplir criterios de descarga específicos, en consonancia con las normativas establecidas por la Decisión **Gubernativa 631 de 2015** (para vertidos en cuerpos de agua superficiales y alcantarillados públicos) y la **Decisión 0883 de 2018** (sobre inmersión en agua de mar y desagües submarinos), las cuales establecen límites máximos para parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua, como el pH, entre otros. Según la **Decisión 631 de 2015**, estas características varían según la actividad, siendo cruciales las descargas industriales, comerciales o domésticas que impactan cuerpos de agua superficiales o redes de alcantarillado público.

En el ámbito de su servicio, Aguas De Castilla S.A. E.S.P. está bajo la consideración de la unidad de asuntos ambientales COORMACARENA del departamento del Meta, ejecutando políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos por la ley, así como aquellos del orden regional correspondientes. En este contexto, la comunidad ha visto pertinente registrar todas las PTAR bajo la gestión de la empresa para un proceso de adaptación progresiva con un único registro.

Abordando este objetivo como un desafío, se han iniciado diversas actividades, que se enumeran a continuación y se detallan en secciones posteriores:

- Diseño de formatos necesarios para la transmisión de información y recolección de datos.

- Elaboración del cronograma de actividades, considerando la infraestructura, ubicación y descarga al caño Guaroa de las PTAR.
- Planificación inmediata de actividades de mantenimiento.
- Propuesta de mejoras en diversos procesos y en la infraestructura necesaria para mejorar la calidad de las aguas residuales.
- Capacitación del personal de aguas residuales para llevar a cabo estas actividades de referencia.

## Conclusiones

El objetivo de este trabajo es precisar la contribución del proyecto de mantenimiento de la planta potabilizadora “el toro” para lograr el correcto funcionamiento de los diferentes procesos de tratamiento. El trabajo muestra mi participación y aporte al desarrollo de un proyecto modelo en la adecuación y mejoramiento de plantas PTAR, según la normativa vigente, **decisión 631 2015**, que define los parámetros máximos permisibles de descarga. Es importante considerar que las plantas agua residual cumplan con los parámetros permitidos. Finalmente se decidió que la empresa Aguas de Castilla S.A ESP. Para garantizar el libre funcionamiento de las depuradoras y conseguir los resultados permitidos en la eliminación de aguas residuales, se deberá seguir un plan y medidas de mantenimiento semestrales.

El Plan de Alcantarillado y Saneamiento, diseñado para **El Toro** en el Municipio de Castilla en el Departamento del Meta, aborda la adecuada recolección, transporte, tratamiento y disposición de las aguas residuales mediante el mantenimiento, reposición, ampliación y restauración de los cuerpos de agua, sistema de drenaje y un sistema de tratamiento acorde con las metas y objetivos de calidad fijados por la Agencia Ambiental. Dentro del PSMV se han propuesto una serie de programas y proyectos para orientar los arreglos a realizar en el corto, mediano y largo plazo del PSMV.

Mantenimiento de la planta tratamiento "El Toro" para asegurar que los distintos procesos de tratamiento funcionen bien, por ejemplo, analizando la calidad del agua y ofreciendo un mantenimiento general que permita solucionar ese problema a la vereda "**El toro**". Al igual definir el período de optimización de la PTAR, Proyectándola a corto y mediano plazo a partir de la disminución gradual de las cargas contaminantes del vertimiento del centro poblado **El Toro** y cumpliendo con los objetivos y metas de calidad, para dar cumplimiento a las metas de reducción

de carga contaminante de DBO y SST, y poder reducir los parámetros que no se están cumpliendo.

### Referencias Bibliográficas

- Aguas de Castilla S.A ESP. (2017). Plan de emergencia y contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Castilla la Nueva, Meta.
- Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta. (2016-2027). Esquema de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico de Soporte. Castilla La Nueva, Meta.
- Alcaldía Municipal de Castilla La Nueva, Meta. (2017). Base de Datos SISBEN /Julio 2017. Castilla La Nueva Meta.
- Censos de Población (2023) Cuántos habitantes tenía Castilla la Nueva, Meta en 2023.  
<https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/meta/castilla-la-nueva>
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2012). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Castilla, Meta.
- DANE. (2017). Proyecciones de población municipales por área.
- Secretaría de Planeación Municipal. SISBEN. (2017). Base de Datos SISBEN. Castilla Meta.