

EVALUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
MEDIANTE LA NORMATIVIDAD DE LA RESOLUCIÓN 631 DE 2015, PARA LA OPTIMIZACIÓN
DE LA PTAR EN EL MUNICIPIO DE GUAMAL-META.



DIEGO MAURICIO PEDRAZA CRUZ
ALBERT STEEV BUENAVENTURA CORREDOR

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
MEDIANTE LA NORMATIVIDAD DE LA RESOLUCIÓN 631 DE 2015, PARA LA OPTIMIZACIÓN
DE LA PTAR EN EL MUNICIPIO DE GUAMAL-META.

DIEGO MAURICIO PEDRAZA CRUZ
ALBERT STEEV BUENAVENTURA CORREDOR

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

Director
Esp. HENRY CONTRERAS LEON
Especialista en Química Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA O.P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEGO O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de ingeniería ambiental

Nota de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de ingeniería ambiental

HENRY CONTRERAS LEON

Director Trabajo de Grado

JUDITH TERESA MEJIA LOZANO

Jurado

YURY TATIANA CARDENAS HERNANDEZ

Jurado

Villavicencio, Agosto 2018

Dedicatoria

A Dios por brindarme fuerza, perseverancia para continuar ante cada obstáculo y por permitirme vivir esta experiencia.

A mi madre, por cada consejo, apoyo, esfuerzo para ver cumplir mis metas y su amor incondicional en cada momento. A mi tía, hermano y padrino ya que gracias a ellos pude realizar mi estudio universitario.

A nuestro director del proyecto de grado Henry León Contreras, quien nos ayudó para llevar a cabo este proyecto.

Diego Mauricio Pedraza Cruz

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres, por darme la vida, por cada consejo, el amor incondicional y por el apoyo que me brindaron en todos estos años, por recorrer junto a mí este camino y creer siempre en mí.

Mi abuelo Luis Alberto Buenaventura (QEPD) y mi bisabuela Alba Lucia Bejarano (QEPD), por quererme, apoyarme y cuidarme desde el cielo, esto es para ustedes.

A mi compañera de vida, Verónica Chica, por llegar en un momento en el cual necesitaba una mano para continuar con este camino y cumplir esta meta, por su paciencia, amor y apoyo incondicional.

Albert Buenaventura Corredor.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por ser guía de cada paso y permitirnos culminar esta etapa, en la cual hubo algunas dificultades, pero siempre con su ayuda y nuestra perseverancia pudimos superar satisfactoriamente y así alcanzar una de las metas propuestas en nuestras vidas.

A nuestras familias gracias por ser el apoyo y confianza incondicional durante este proceso de formación universitaria.

A nuestro director de proyecto de grado el Ingeniero Henry Contreras León, por su confianza, colaboración, paciencia y por el aporte de sus conocimientos que fueron fundamentales para la estructuración, ejecución y finalización de forma exitosa de este proyecto.

A la Empresa de Servicios Públicos del Meta EDESA S.A E.S.P., por abrirnos sus puertas y por su colaboración para la realización del proyecto, en especial al Ingeniero Diego Calle Villegas Co-Director del proyecto y a el señor Alirio el operario de la PTAR de Guamal.

A la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, la Facultad de Ingeniería Ambiental en cabeza de la Ingeniera Natalia Mosquera Beltrán y a todos los profesores que hicieron parte de nuestra formación profesional, también a Carolina Méndez Leal, coordinadora de laboratorios y su equipo de trabajo por la colaboración durante el desarrollo del trabajo de campo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	14
CAPITULO I	18
Planteamiento Del Problema.....	18
Objetivos	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
Justificación	21
Delimitación del proyecto.....	23
CAPITULO II	26
Antecedentes	26
CAPITULO III.....	29
Marco de referencia	29
Generalidades de las aguas residuales.	29
Tratamiento de aguas residuales	30
Muestreo de aguas residuales	31
Medición de caudales	32
Estimación de caudal máximo	33
Caudal durante periodos de lluvia	33
Carga contaminante	34
Proyección poblacional	34
Métodos de cálculo para las proyecciones de población	35
Características de la PTAR existente	35
Pre tratamiento	36
Tratamiento primario	36
Tratamiento secundario	37
Tratamiento Terciario.....	37
Tratamiento y disposición de lodos.....	38

Marco legal	39
CAPITULO IV.....	41
Metodología	41
Fase 1. Área de estudio.....	41
Selección de modelo no experimental cualitativo (Diseño factorial 2 ²)	41
Selección de punto de muestreo.....	42
Toma y preservación de muestras.....	43
Tipo de muestreo y frecuencia.....	44
Métodos de medición	45
Fase 2. Análisis de resultados.....	46
Proyección poblacional	46
Fase 3. Propuestas para la optimización de las aguas residuales para la planta de tratamiento.....	49
CAPITULO V	50
Resultados	50
Datos de precipitación en la zona de estudio.....	50
Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual domestica de Guamal-Meta.....	51
Caudales.....	51
Temperatura del Vertimiento.....	52
pH.....	54
Demanda Biológica De Oxígeno.....	55
Demanda Química de Oxígeno.....	56
Nitratos	58
Nitritos.....	59
Fosforo y fosfatos.....	60
Grasas y aceites	61
Solidos.....	61
Análisis estadístico	63
Análisis microbiológico.....	66
Carga Contaminante	66

Proyección poblacional.	67
Evaluación de infraestructura y medidas de manejo para la optimización de la PTAR	69
Propuestas de manejo	71
Discusión de resultados.....	72
Conclusiones	75
Referencias Bibliográficas	77
ANEXOS	80

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Parámetros, unidades y técnicas utilizadas.	27
Tabla 2. Composición típica de las aguas residuales domesticas (ARD)	30
Tabla 3. Preservativos y períodos máximos de almacenamiento.....	32
Tabla 4. Asignación Del Nivel De Complejidad.	34
Tabla 5. Métodos de Proyección Según La Complejidad.	35
Tabla 6. Requisitos De Conservación y Almacenamiento De Muestras.	44
Tabla 7. Métodos de medición.	45
Tabla 9. Valores en temporada seca y temporada de lluvia.....	55
Tabla 10. Valores en horas pico de la temporada de lluvia de Demanda Biológica de Oxígeno. 56	
Tabla 11. Valores de DQO en temporada seca y de lluvia.	57
Tabla 12 Valores de DQO en temporada de lluvia horas pico.....	57
Tabla 13. Valores en temporada seca y de lluvia de Nitrato.....	58
Tabla 14. Valores en horas pico en temporada de lluvia.	58
Tabla 15. Relación teórica Carbono/Nitrógeno.	59
Tabla 16. Valores en temporada seca y de lluvia de Nitrito.	59
Tabla 17. Valores en horas pico en temporada de lluvia.	59
Tabla 18. Relación teórica Carbono/Nitrógeno.	60
Tabla 19. Valores de fosforo obtenidos en temporada seca, de lluvia y horas pico.	60
Tabla 20 Valores de Fosfatos obtenidos en temporada de lluvia horas pico.	60
Tabla 21. Rangos Grasa y Aceites.	61
Tabla 22. Rangos Solidos Sedimentables.	62
Tabla 23. Rangos Solidos Suspendidos.	62
Tabla 24. Rango Solidos Totales.	63
Tabla 25. Correlación caudales, temporada seca.	64
Tabla 26. Correlación caudal, temporada de lluvia.	64
Tabla 27. Correlación caudales, temporadas (seca-lluvia).	65
Tabla 28. Correlación carga contaminante, temporada de lluvia.....	65

Tabla 29. Carga contaminante de materia orgánica.	66
Tabla 30. Comparación del nivel de carga contaminante entre Villavicencio y Guamal.	67
Tabla 31. Resultado de proyección personal.	68
Tabla 32. Resultados de la proyección por consumo y aporte.	68
Tabla 33. Dimensiones del reactor.	69
Tabla 34. Requerimientos de diseño para un reactor de lodos activados convencional.	69
Tabla 35. Condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales mediante Lodos Activados.	70

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Esquema de Sistema de Alcantarillado Guamal-Meta.	25
Figura 2 Punto de vertimiento de las aguas residuales domésticas..	43
Figura 3 Datos de precipitaciones en los meses abril y mayo..	50
Figura 4 Caudales horarios en temporada seca.....	51
Figura 5 Caudales horarios en temporada de lluvia.....	52
Figura 6. Temperatura horaria en temporada seca.....	53
Figura 7. Temperatura horaria en temporada de lluvia.....	53
Figura 8. pH horario en temporada seca..	54
Figura 9. pH horario en temporada de lluvia..	55
Figura 10. Concentración horaria de DQO en temporada de lluvia	57

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. Valores obtenidos de parámetros in situ.	80
Anexo 2. Memoria de cálculo para evaluar la capacidad del reactor.	83
Anexo 3. Memorias de cálculo proyección poblacional.....	84
Anexo 4. Cálculos.....	85
Anexo 5. Cálculo de Carga contaminante.	87
Anexo 6. Características de la PTAR existente Guamal-Meta.....	88
Anexo 7. Análisis físico-químicos realizados por el laboratorio TecnoAmbiental.....	92

Resumen

El municipio de Guamal – Meta cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales la cual no está operando actualmente, por lo cual no se realiza tratamiento alguno a las aguas residuales de municipio y es por esta razón que son vertidas directamente al río Guamal, ocasionando un impacto ambiental negativo en el cuerpo hídrico y provocando problemas de salud pública en habitantes que tengan sus viviendas aguas abajo del punto de vertimiento, motivo por el cual se realizó una caracterización de aguas residuales de municipio con la Empresa de Servicios Públicos del Meta EDESA S.A E.S.P., mediante unos monitoreos en temporada seca y otros en temporada húmeda o de lluvia; en cada temporada se realizó un monitoreo de 24 horas en día hábil y en día no hábil, teniendo un total de 4 monitoreos en total.

Cada monitoreo consistió en la medición de parámetros in situ y ex situ; por lo cual los monitoreos de la temporada seca fueron realizados y analizados por el laboratorio TecnoAmbiental SAS y por otra parte los monitoreos de la temporada de lluvia realizados y analizados por los autores del presente trabajo en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas en Villavicencio. Los monitoreos se realizaron directamente en el punto de vertimiento de aguas residuales, dicho punto cuenta con dos (2) tubos de vertimiento por lo tanto se tomaron muestras puntuales en horas pico (3:00 am, 1:00 pm, y 8:00 pm) y muestras de cada tubo por 24 horas para así realizar una muestra compuesta por cada tubo para realizar una muestra integrada.

Los parámetros que se midieron en campo y en laboratorio presentaron las siguientes concentraciones entre temporadas: Caudales de 141.97 L/s a 827.878L/s, DBO de 42 mg/l a 72.6 mg/l, DQO de 157 mg/l a 230 mg/l, pH de 6.29 unidades a 6.72 unidades, Temperatura de 24.5°C a 25.28°C, Nitratos de 32.08 mg/l a 75.9 mg/l, Nitritos de 0.02 a 0.03 mg/l, Solidos Sedimentables de 2.5 ml/l a 4 ml/l, Solidos Suspendidos de 58.3 mg/l a 1590 mg/l, Solidos totales 960 mg/l a 5560 mg/l, Grasas y Aceites de 22.6 mg/l a 7920 mg/l y Coliformes Fecales y Totales de 2419600 NPM/100ml.

Por otra parte los parámetros medidos en horas picos presentan las siguientes concentraciones: Caudales de 440.474 L/s a 810.282 L/s, DBO de 52.2 mg/l a 226.67 mg/l, DQO de 153.61 mg/l a 533.64 mg/l, pH de 6.18 unidades a 6.38 unidades, Temperatura de 24.2°C a 25.4°C, Nitratos de 29.97 mg/l a 46.10 mg/l, Nitritos de 0.02 a 0.08 mg/l, Solidos Sedimentables de 1.5 ml/l a 4 ml/l, Solidos Suspendidos de 970 mg/l a 1640 mg/l, Solidos totales 3300 mg/l a 5460 mg/l y Grasas y Aceites de 60 mg/l a 1000 mg/l.

Con los resultados obtenidos en los muestreos realizados se determinaron las correlaciones de variables independientes y dependiente del diseño factorial 2², para realizar los análisis correspondientes y propuestas de manejo de las aguas residuales para la optimización de la PTAR del Municipio de Guamal-Meta. Las cuales son las siguientes: recuperar todos los sistemas de tratamientos existentes y ampliar en las mismas proporciones, es decir: implementar tres barredores de lodos, tres tanques de desinfección y tres lechos de secado de lodos, siempre y cuando se cumpla con los periodos de purga para mantener la concentración de SSLM en el valor de estado óptimo.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, Tratamiento de aguas residuales, Demanda Biológica de oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Abstract

The municipality of Guamal - Meta has a wastewater treatment plant which is not currently operating, so no treatment is done to the municipal wastewater and it is for this reason that they are discharged directly into the Guamal river, causing a negative environmental impact on the water body and causing public health problems in inhabitants who have their homes downstream of the point of discharge, which is why a wastewater characterization of the municipality was carried out with the Public Services Company of Meta EDESA SA ESP, through monitoring in the dry season and others in wet or rainy season; in each season a 24-hour monitoring was performed on a business day and on a non-business day, with a total of 4 monitoring sessions in total.

Each monitoring consisted in the measurement of parameters in situ and ex situ; therefore, the monitoring of the dry season was carried out and analyzed by the TecnoAmbiental SAS laboratory and, on the other hand, the monitoring of the rainy season carried out and analyzed by the authors of the present work in the laboratories of the Santo Tomas University in Villavicencio. The monitoring was carried out directly at the point of discharge of wastewater, said point has two (2) pouring tubes, therefore punctual samples were taken during peak hours (3:00 a.m., 1:00 p.m., and 8:00 p.m. pm) and samples of each tube for 24 hours to make a composite sample for each tube to make an integrated sample.

The parameters that were measured in the field and in the laboratory presented the following concentrations between seasons: Flows from 141.97 L / s to 827,878 L / s, BOD from 42 mg / L to 72.6 mg / L, COD from 157 mg / L to 230 mg / L, pH from 6.29 units to 6.72 units, Temperature from 24.5 ° C to 25.28 ° C, Nitrates from 32.08 mg / L to 75.9 mg / L, Nitrites from 0.02 to 0.03 mg / L, Solids from 2.5 ml / L to 4 mL / L, Suspended solids of 58.3 mg / l 1590 mg / l, Total solids 960 mg / l 5560 mg / l, Fats and Oils 22.6 mg / l 7920 mg / l and Fecal and Total Coliforms 2419600 NPM / 100ml.

On the other hand, the parameters measured in peak hours have the following concentrations: Flows of 440.474 L / s to 810.282 L / s, BOD of 52.2 mg / L to 226.67 mg / L, COD of 153.61 mg / L to 533.64 mg / L, pH of 6.18 units at 6.38 units, Temperature from 24.2 ° C to 25.4 ° C, Nitrates of 29.97 mg / l to 46.10 mg / l, Nitrites from 0.02 to 0.08 mg / l, Solids of 1.5 ml / l to 4 ml / l, Solids Suspended from 970 mg / la 1640 mg / l, Total solids 3300 mg / la 5460 mg / l and Fats and Oils 60 mg / la 1000 mg / l.

With the results obtained in the samplings carried out, the correlations of independent variables and dependent on the factorial design 22 were determined, to carry out the corresponding analyzes and proposed wastewater management for the optimization of the WWTP of the Municipality of Guamal-Meta. These are the following: recover all existing treatment systems and expand in the same proportions, that is: implement three sludge sweepers, three disinfection tanks and three sludge drying beds, as long as the periods of purge to maintain the concentration of SSLM at the optimal state value.

Key words: Domestic sewage, Sewage treatment, Biological oxygen demand, Chemical Demand of Oxygen.

CAPITULO I

Planteamiento Del Problema

Expertos del Banco Mundial afirman que aproximadamente un 70% de las aguas residuales en Latinoamérica se vierten a los ríos sin ser tratadas generando un problema de salud pública e impactando negativamente los ecosistema acuáticos (BANCO MUNDIAL , 2013), mientras que en Colombia no más del 30% de las aguas residuales, son tratadas y en los casos en los que hay tratamiento, este no es completo para garantizar el vertimiento limpio de las aguas a los cursos naturales (Asociacion Colombiana De Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2016), lo que indica que casi la totalidad de aguas residuales generadas en Colombia son vertidas sin ningún tipo de tratamiento.

El municipio de Guamal – Meta; cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada por la antigua vía al municipio de Castilla la Nueva vía al matadero a 2Km del casco urbano de Guamal al costado izquierdo del rio Guamal, este sistema de tratamiento consiste en un tratamiento biológico y mixto.

El sistema de tratamiento (PTAR’S) fue diseñado para servir una población máxima de 9500 personas, el cual no se encuentra en servicio (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009). Además la empresa prestadora de servicio de alcantarillado no cuenta con información de cargas contaminantes aportadas por el sector doméstico, comercial e industrial. El sistema de alcantarillado presenta conexiones erradas e infiltraciones, lo que ocasiona una falla en el sistema de tratamiento y por ende dichas cargas contaminantes son vertidas sin ningún tratamiento al río Guamal; por lo tanto surge la necesidad de realizar una evaluación de dichas aguas del sistema de alcantarillado, para proponer alternativas de manejo y lograr que la planta de tratamiento de aguas residuales vuelva a estar en funcionamiento, con el fin de disminuir el impacto ambiental de la fuente receptora.

De acuerdo a lo anterior se plantea la siguiente pregunta problema: ¿Cuál es el estado actual de las aguas residuales del municipio de Guamal-Meta, con respecto a las actividades socioeconómicas y condiciones climáticas en temporada seca y temporada de lluvia?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los aportes de carga contaminante de las aguas residuales del sistema de alcantarillado con base a parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y normas nacionales vigentes en vertimientos, para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Guamal – Meta.

Objetivos específicos

- Determinar los valores de carga contaminante vertidos al sistema de alcantarillado en la cámara de recolección de la planta de tratamiento ubicada al costado izquierdo del río Guamal.
- Correlacionar los aportes fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo a las actividades desarrolladas en temporada de lluvia y seca mediante un análisis estadístico.
- Analizar la infraestructura y procesos que posee la planta de tratamiento con el fin de minimizar costos y favorecer la optimización de la PTAR.
- Formular medidas de manejo para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de mitigar riesgos en la salud pública y favorecer la autodepuración del cuerpo de agua receptor.

Justificación

El municipio de Guamal-Meta posee un sistema de alcantarillado sanitario el cual tiene una cobertura del 85,48% lo que significa que el servicio es prestado a 1773 inmuebles de los 2074 inmuebles existentes en el área urbana de Guamal, este sistema cuenta con cuatro (4) cuencas sanitarias que drenan el área urbana de Guamal, según el plan maestro de acueducto y alcantarillado estas cuencas cuentan con las siguientes características:

- Cuenca Sanitaria I (Distrito Central) (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009): “Esta cuenca de drenaje es la más grande de todas ya que drena el 55,3% del área total del alcantarillado”.
- Cuenca II (Distrito Sur) (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009): “Esta cuenca drena el agua residual del 18% del área de drenaje del alcantarillado”.
- Cuenca III (Distrito occidental) (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009): “esta cuenca sanitaria representa el 25% del área total del alcantarillado”.
- Cuenca sanitaria IV (Distrito de Villa María) (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009): “esta cuenca sanitaria representa el 1.7% del área del alcantarillado, dichos distritos tienen una conexión por medio del sistema de alcantarillado y cuenta con un total de 443 pozos de inspección”.

De acuerdo a la información sobre los usuarios del área urbana de Guamal se evidencia que hay presencia de establecimientos (empresas prestadoras de productos y servicios), almacenes de cadena, estaciones de servicio, restaurantes; los cuales realizan vertimientos al sistema de alcantarillado sin algún tipo de tratamiento (Empresa de Servicios Públicos del Meta EDESA S.A. E.S.P, 2016). El alcantarillado posee una cámara de recolección ubicada en las coordenadas $X = 1035927.246$ y $Y = 919147.854$, la cual representa la recolección del 100% de agua residual, estas aguas son dirigidas a la PTAR.

Con el fin de conocer y/o identificar trabajos de investigación referentes a dicha caracterización, se realizó una investigación minuciosa, donde se concluyó una inexistencia de información referente. Es por esto que nace la necesidad de evaluar dichas aguas residuales, así mismo realizar las recomendaciones pertinentes y así lograr una optimización de la PTAR. Posteriormente es prioridad para el municipio de Guamal-Meta identificar los valores de carga contaminante con el fin de disminuir el impacto ambiental sobre el río Guamal, con el propósito de garantizar el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, mitigar riesgos en la salud pública y favorecer la autodepuración del cuerpo de agua receptor, en función del cumplimiento de servicios de saneamiento básico establecido por la empresa de servicios públicos del Meta EDESA S.A E.S.P., prestadora de servicio público de alcantarillado.

Delimitación del proyecto

La empresa de servicios públicos del Meta EDESA S.A E.S.P., responsable del servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales del municipio de Guamal-Meta (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009), “tiene una cobertura del 85,48% prestando el servicio a 1773 inmuebles de los 2074 inmuebles existentes en el área urbana de Guamal, de acuerdo a la información suministrada por EDESA S.A; en la actualidad se cobre por este servicio a 1370 usuarios”.

El sistema de alcantarillado consta de cuatro cuencas sanitarias que drenan el casco urbano de Guamal de acuerdo a la información suministrada por EDESA en el 2009 (Plan maestro de acueducto y alcantarillado); donde se van a tomar como objeto de estudio la cuenca sanitaria I, II, III y IV:

- Cuenca sanitaria I (Distrito Central): esta cuenca de drenaje, es la más grande de todas ya que drena el 55,3% del área total del alcantarillado. Esta área drena las aguas residuales de los sectores: El Vergel, Bosques de Santa Bárbara, Alcaraván Llanero, Sector del Cementerio, Plaza Principal y barrio Paraíso, este distrito sanitario recolecta el agua residual la cual es enviada al distrito sur, en el barrio de Villa Patricia, luego el agua es enviada a un pozo de inspección ubicado en Guamal Lácteos agua.
- Cuenca sanitaria II (Distrito Sur). Esta cuenca sanitaria drena el residual de los barrios Julio Mayorga, Parte sur del sector Centro, y barrios y urbanizaciones de Las Villas, Villa Claudia y San Roque, las aguas recolectadas por esta cuenca sanitaria llegan al pozo de inspección ubicado en Guamal Lácteos (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009).
- Cuenca Sanitaria III (Distrito occidental) cuenca sanitaria comienza su recolección de agua residual en complejo Ganadero, recoge las aguas a lo largo de la carrera 3A, y la transversal 4A, también recolecta las aguas residuales del barrio las villas, las cuales

son conducidas por un potrero hasta el matadero, donde confluyen a un pozo de inspección donde se dividen en dos flujos, el primer flujo es conducido por un potrero y confluye en una cámara donde se reúnen las aguas de los distritos central y sur, el segundo flujo va en paralelo por la vía hacia la planta de tratamiento donde antes de su ingreso llegan estas aguas a un aliviadero donde se regula el agua que ingresa a la PTAR las aguas alejadas son transportadas por una tubería de 12” hacia el río Guamal Esta cuenca sanitaria representa el 25% del área total del alcantarillado (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009).

- Cuenca Sanitaria IV (Distrito de Villa María): esta cuenca recolecta el agua residual del barrio Villa María, de acuerdo al catastro de redes realizado por el Plan Maestro y Alcantarillado, este drenaje representa al 1,7% del área de alcantarillado de Guamal (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009).

El trabajo se desarrolló en un tiempo estimado de 6 meses (Temporada seca: Abril; Temporada de lluvia: Mayo); Donde los parámetros medidos tanto en campo como en laboratorio son: Temperatura °C, pH, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST), Solidos Totales (ST), Solidos Sedimentables (SS), Grasas & Aceites (G&A), Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Microbiológicos.

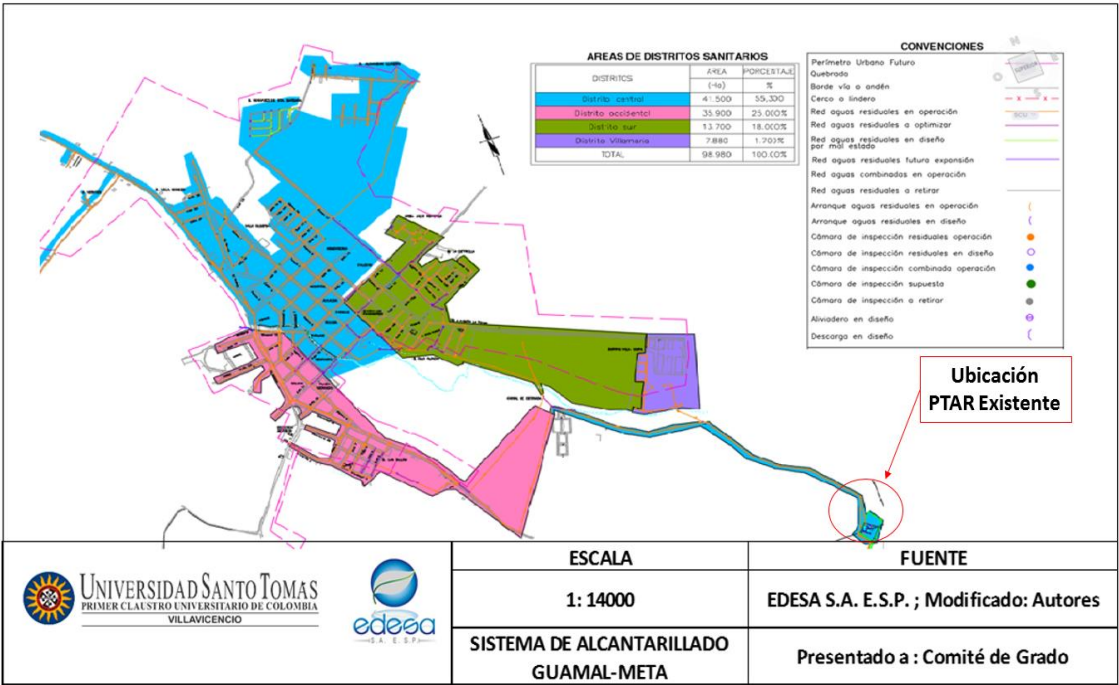


Figura 1 Esquema de Sistema de Alcantarillado Guamal-Meta. Modificado por Diego Pedraza, 2018.

CAPITULO II

Antecedentes

En la universidad de chile, se llevó a cabo el tratamiento físico químico de aguas residuales con el fin realiza una caracterización de los parámetros a estudiar en aguas servidas, además de analizar la normativa vigente respecto a la descarga de efluentes y vertido o reusó de lodos con énfasis en los parámetros con los cuales se evaluará el tratamiento físico químico. Determinando la eficiencia de remoción del tratamiento físico químico para SST, DBO5, NKT y P, la dosis óptima de coagulante a utilizar, además de una caracterización de los lodos generados en términos de contenido de sólidos totales y volumen. Presentan las conclusiones y comentarios respecto a los resultados encontrados en el desarrollo de este estudio. Además en este estudio se presentan cálculos realizados en el diseño de la planta de tratamiento físico químico, (Carrasco Quiroz, 2007). Dicho estudio se tendrá en cuenta, ya que su metodología es pertinente para este trabajo.

En el estudio de caracterización de impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río cesar, se realizó el análisis de los cuerpos de agua receptores de aguas residuales con el fin de obtener información de soporte de las posibles influencias de dichos efluentes; los análisis incluyen explicaciones a las deficiencias detectadas en los sistemas de tratamiento de las empresas visitadas, que serán bases para las sugerencias que deberán tener en cuenta para el mejoramiento de los mismos.

Los parámetros medidos tanto en campo como en laboratorio están asignados en la tabla 1; las referencias para comparar los resultados de las mediciones, fueron tomadas de la normas colombianas, especialmente del decreto 1594 (1984), artículo 72 que trata sobre los vertimientos (Grupo de Biodiversidad del Caribe Colombiano, 2011). Estos parámetros son pertinentes, debido a la similitud de parámetros a evaluar en el trabajo a desarrollar y la norma vigente Decreto 0631 del 2015.

Tabla 1. *Parámetros, unidades y técnicas utilizadas.*

Parámetros de medición	Técnica	Sitio
Temperatura (°C)	Potenciometria	Campo
Oxígeno disuelto (mg/L)	Potenciometria	Campo
pH	Potenciometria	Campo
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Potenciometria	Campo
Caudal (m ³ /s)	Flujómetro	Campo
Posición geográfica	GPS	Campo
Coliformes Totales NMP/100ml.	Tubos múltiples	Laboratorio
Coliformes Fecales NMP/100ml.	Tubos múltiples	Laboratorio
Grasas y Aceites (mg/L)	Extracción soxhlet	Laboratorio
DQO (mg/L)	Reflujo abierto.	Laboratorio
DBO5 (mg/L)	Incubación 5 días a 25°C	Laboratorio
Sólidos en suspensión (mg/L)	Filtración	Laboratorio
Fósforo total (mg/L)	Digestión	Laboratorio

Nota: Parámetros, unidades y técnicas utilizadas Grupo de investigación biodiversidad del Caribe colombiano (Grupo de Biodiversidad del Caribe Colombiano, 2011).

En la caracterización fisicoquímica de los vertimientos de aguas residuales industriales hacia los cuerpos de agua del departamento del atlántico y monitoreo de la calidad y estado actual de las fuentes hídricas de la jurisdicción; el objetivo del estudio es la identificación del estado de las cargas de aguas residuales en términos de características fisicoquímicas en función del cumplimiento al pago de la tasa retributiva y las auto declaraciones de vertimientos y así mismo determinar el estado de los cuerpos de agua, bajo el estudio de los parámetros: Demanda biológica de estudio (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), caudal, pH y temperatura. Teniendo en cuenta que la C.R.A. no cuenta con un laboratorio para un programa de monitoreo (CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL ATLANTICO C.R.A., 2009).

El sistema de alcantarillado del municipio de Guamal-Meta; presenta un diagnóstico, el cual se basa en la proyección de diseños que se ajustan a la solución de problemáticas que actualmente posee el sistema de alcantarillado. Los sistemas de alcantarillado, tanto residual como pluvial, de la zona urbana del municipio de Guamal, fueron investigados en campo y se revisaron en el

software especializado para conocer la capacidad hidráulica, de sus redes, velocidad de flujo y el caudal transportado etc. Dicho software es EPASWMM, cuyo origen es la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de América. Como se presentó en el informe de diagnóstico los sistemas de alcantarillado fueron identificados por distritos, y en el presente informe se continuará con dicha identificación. Cabe señalar que tanto el diagnóstico de los sistemas como en sus respectivos análisis de alternativas de solución de los problemas hallados y sus conocimientos de diseño, se evaluaron bajo los parámetros establecidos por el RAS/2000 (Empresa de Servicios Públicos del Meta (EDESA S.A. E.S.P.), 2009).

CAPITULO III

Marco de referencia

Generalidades de las aguas residuales.

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. Así, por ejemplo, la Ley de Aguas de 1985 — y sus posteriores modificaciones — define la contaminación del agua como «la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica», definición coherente con la mayoría de las que se pueden encontrar en las legislaciones propias de muchos países del mundo (Alianza por el agua, 2015).

En las grandes y medianas aglomeraciones urbanas el procedimiento más habitual para el tratamiento de los vertidos líquidos se conoce como «lodos activos», en sus distintas modalidades, que desde sus primeras aplicaciones a principios del siglo XX se ha convertido en el tratamiento mundialmente más extendido (Alianza por el agua, 2015).

La procedencia de los tres posibles componentes de las aguas residuales urbanas y los principales contaminantes que éstas aportan, son los siguientes: • Aguas residuales domésticas, que están constituidas a su vez por: - Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas, sales. - Aguas de lavadoras: detergentes, nutrientes. - Aguas de baño: jabones, geles, champús. - Aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos. • Aguas residuales industriales: resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria (Alianza por el agua, 2015).

Existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia por analizar y de su magnitud, hay que recordar que

cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de polución deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica (Romero Rojas, 2014). En la tabla 2 se observa un resumen los valores promedios de las características de polución más importantes evaluadas en aguas residuales y revelan la importancia de su origen y de la magnitud del caudal aportante (Romero Rojas, 2014).

Tabla 2. Composición típica de las aguas residuales domesticas (ARD)

Parámetro	Magnitud
Sólidos totales	720 mg/L
Sólidos disueltos	500 mg/L
Sólidos disueltos volátiles	200 mg/L
Sólidos suspendidos	220 mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	165 mg/L
Sólidos sedimentables	10 ml/L
DBO	220 mg/L
COT	160 mg/L
DQO	500 mg/L
Nitrógeno total	40 mg/L-N
Nitrógeno orgánico	15 mg/L-N
Nitrógeno amoniacal	25 mg/L-N
Nitritos	0 mg/L-N
Nitratos	0 mg/L-N
Fósforo total	8 mg/L-P
Fósforo orgánico	3 mg/L-P
Fósforo inorgánico	5 mg/L-P
Cloruros	50 mg/L-Cl
Alcalinidad	100 mg/L-CaCO ₃
Grasas	100 mg/L

Nota: Composición típica de las aguas residuales domésticas, adaptado de (Romero Rojas, 2014)

Tratamiento de aguas residuales

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales, proteger la salud y promover el bienestar de una sociedad en general (Toro Galvis & Rivera Guerrero, 2013).

El tratamiento de aguas residuales es una de las actividades del servicio público domiciliario de alcantarillado. Está definido como el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como fin separar o remover del vertimiento los constituyentes indeseables y modificar las propiedades fisicoquímicas o biológicas del residuo, con el fin de alcanzar niveles compatibles con los requerimientos de la descarga según la normatividad ambiental vigente (Super intendencia de servicios , 2013).

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes. Existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos, procesos fisicoquímicos y en ocasiones se presentan ambos. Los sistemas de tratamiento son nombrados de acuerdo al principio de operación, ejemplo, lodos, lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, película fija, entre otros (Toro Galvis & Rivera Guerrero, 2013).

Muestreo de aguas residuales

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales o estándar. A demás, una caracterización acertada de esta agua requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global de aguas residuales y no solamente del caudal que circula en el instante del muestreo (Romero Rojas, 2014).

Las muestras compuestas son preferibles cuando se desean conocerse resultados promedio. La muestra compuesta preferida es una mezcla de muestras individuales proporcionales al caudal instantáneo; para el efecto se toman muestras simples a intervalos constantes de tiempos, por lo regular una hora, se almacenan apropiadamente en un refrigerador y, al final del periodo de muestreo, se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante de muestreo (Romero Rojas, 2014).

Ciertas características del agua, especialmente de aguas residuales industriales, requieren, para su determinación apropiada, que se agreguen preservativos que impidan la alteración del parámetro

que se requiere analizar. Algunos de los preservativos usados y de los tiempos de almacenamiento máximo para diferentes parámetros se presentan en la tabla 3 (Romero Rojas, 2014).

Tabla 3. Preservativos y períodos máximos de almacenamiento.

Parámetro	Preservativo	Periodo máximo de almacenamiento
Acidez-alcalinidad	Refrigeración a 4°C	24 h
Calcio	Ninguno	7 d
Cianuro	NaOH para pH > 10	24 h
Cloruros	Ninguno	7 d
Color	Refrigeración a 4°C	24 d
Conductancia específica	Ninguno	7 d
DBO	Refrigeración a 4°C	8 h
DQO	2 mL de H ₂ SO ₄ /L	7 d
Dureza	Ninguno	7 d
Fenoles	1 g CuSO ₄ /L + H ₃ PO ₄ para Ph 4,0	24 h
Fluoruros	Ninguno	7 d
Fosforo	40 mg HgCl ₂ /L	7 d
Grasas y Aceites	2 mL de H ₂ SO ₄ /L a 4°C	24 d
Metales, disueltos	3 mL HNO ₃ 1+ 1/L Filtrado	6 meses
Metales, total	5 mL HNO ₃ /L	6 meses
Nitratos	40 mg HgCl ₂ /L	7 d
Nitritos	40 mg HgCl ₂ /L	2 d
Nitrógeno amoniacal	40 mg HgCl ₂ /L a 4°C	7 d
Nitrógeno Kjeldahl	40 mg HgCl ₂ /L	inestable
OD	Determinar in situ	Ninguno
pH	Determinar in situ	Ninguno
Sólidos	Ninguno	7 d
Sulfatos	Refrigeración a 4°C	7 d
Sulfuros	2 mL de acetato de zinc/L	7 d
Turbiedad	Ninguno	7 d

Nota: Preservativos y períodos máximos de almacenamiento de muestras de aguas residuales, tomado de (Romero Rojas, 2014)

Medición de caudales

Para la determinación del caudal de las descargas deben efectuarse por lo menos 3 jornadas de medición horaria durante las 24 horas del día y en cada uno de los emisarios que se consideren representativos. Con estos datos deben determinarse los caudales medio y máximo horario

representativos de cada descarga y el factor de mayoración correspondiente, según lo establecido (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000).

Los caudales deben relacionarse con la población de aporte de cada descarga para determinar los correspondientes aportes de agua residual per cápita. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema de alcantarillado, deben calcularse por separado los caudales domésticos e industriales. Los aportes antes mencionados deben estimarse siguiendo lo establecido (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000).

Deben efectuarse mediciones para determinar la cantidad de agua de infiltración y otros caudales afluentes asociados a conexiones erradas al sistema de alcantarillado. Deben encontrarse factores para caudales de infiltración (en términos de área o de longitud de la red L/s/ha ó L/s/km) de modo que se pueda proyectar el caudal esperado. Así mismo deben tenerse en cuenta los periodos de sequía y de lluvia (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000).

Estimación de caudal máximo

Al mismo tiempo que se efectúan las mediciones de caudales máximos en los colectores, debe estimarse el caudal máximo horario con base en los factores de mayoración de cargas presentados en los literales D.3.2.3 y D.3.2.4 E.2.2.2 del RAS 2000 (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000).

Caudal durante periodos de lluvia

Los aportes asociados a periodos de lluvia deben ser tomados en consideración al determinar el caudal de diseño, para lo cual debe hacerse un estudio de infiltración y afluentes. El porcentaje de recolección debe estar entre 5 y 20 % del caudal de aguas negras. O debe usarse el siguiente criterio: para zonas residenciales se admitirá entre 25 y 50 L/h/d, y para zonas industriales y

comerciales un caudal de 0.2 L/s/ha (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000).

Carga contaminante

El cálculo de la carga contaminante de cada parámetro contaminante se realiza en el descole del municipio Guamal-meta, mediante la utilización adecuada de indicadores de producción y consumo, así como datos resultantes de los programas de caracterización y monitoreo realizados (Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

En este sentido, las evaluaciones aproximadas se concentran fundamentalmente en la determinación de los parámetros de Caudal (Q), pH, Temperatura (T°), Conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno, Sólidos suspendidos totales (SST), Grasas y aceites (G&A) y microbiológicos.

Proyección poblacional

En todos los casos para la estimación de la proyección de la población se deben tener en cuenta los datos establecidos para la población por el DANE, tanto para la definición del nivel de complejidad (Ver Tabla 4) del sistema como para la proyección de la población. El último dato de población establecido por el DANE para el municipio objeto del diseño debe tenerse en cuenta como un último censo a utilizarse para la proyección de la población (Ministerio de Vivienda, 2013).

Tabla 4. Asignación Del Nivel De Complejidad.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Nota: Asignación del nivel de complejidad, según el DANE por medio de la Guía Ras-001 (Ministerio de Vivienda, 2013).

Métodos de cálculo para las proyecciones de población

Para llevar a cabo la proyección de la población objeto del diseño, se deben tener en cuenta las proyecciones del DANE hasta el año en que éstas se encuentren disponibles. El último dato de población disponible en el DANE se debe tomar como un último censo en el proceso de proyección de la población (Ministerio de Vivienda, 2013).

El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la tabla 4. Se calculará la población utilizando uno cualquiera de los siguientes modelos matemáticos (Ministerio de Vivienda, 2013) (Ver Tabla 5):

Tabla 5. Métodos de Proyección Según La Complejidad.

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappaus	X	X	X	X
Gráfico	X	X	X	
Exponencial	X	X	X	
Detallar por zonas			X	X
Detallar densidades			X	X

Nota: Métodos de proyección según la complejidad, según el DANE por medio de la Guía Ras-001 (DANE, 2009).

Características de la PTAR existente

La PTAR existente se encuentra ubicada en las coordenadas 3°51'48.85"N y 73°45'15.65" O, la cual estuvo operando hasta el año 2014, año cuando se presentó la avería el equipo soplador que suministraba oxígeno al reactor aerobio. Las aguas residuales llegan a la depuradora mediante una tubería de PVC de 10 pulgadas. El esquema general de tratamiento se aprecia en la figura 2:

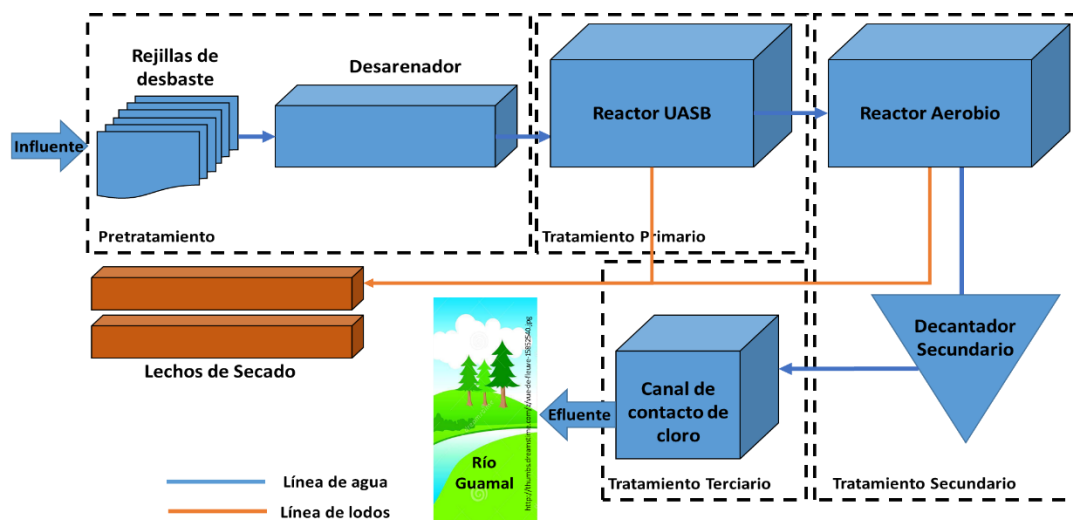


Ilustración 1 PTAR Existente Guamal-Meta. Adaptado de (EDESA S.A E.S.P., 2016)

Pre tratamiento

Desbaste: a la depuradora ingresan las aguas residuales a una estructura que cuenta con una rejillas de limpieza manual de unos 0.55 m de ancho con una separación entre barrotes de 1.5 cm, aproximadamente (EDESA S.A E.S.P., 2016) (Ver anexo 6 ilustración).

Desarenador: esta unidad se encuentra constituida por dos canales que acompañan cada rejilla de desbaste. La unidad tiene una longitud aproximada de 2 metros y una altura efectiva de 1.0 m, la cual es la altura mínima recomendada. A la salida, cada unidad descarga a una cámara de entrada al reactor anaerobio mediante un vertedero tipo sutro. esta estructura de desarenado tiene un tiempo de retención hidráulica (TRH) de unos 138 segundos, el cual cumple con el valor mínimo recomendado de 100 s aunque preferiblemente no debe ser menor de 180 s (Lozano-Rivas, Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012) (EDESA S.A E.S.P., 2016).

Tratamiento primario

Como tratamiento primario se tienen dos (2) reactores anaerobios tipo UASB (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente a través de un Manto de Lodos), en hormigón, con un volumen

útil total aproximado de 270 m^3 (Largo: 9.8 m; ancho: 5.5 m; profundidad: 5.0 m), para un TRH aproximado de 4.5 horas, cuyo valor es cercano al mínimo recomendado (4 horas) (EDESA S.A E.S.P., 2016).

Tratamiento secundario

El sistema está dotado de dos (1) reactores aerobios (tipo AirMix), construidos en hormigón cuya mitad superior está compuesta de piezas plásticas (llamadas rosetas o galletas) sostenidas por una malla. Sobre estas piezas plásticas se adhiere la biomasa encargada de la transformación y descomposición de la materia orgánica remanente en el efluente del reactor UASB. Esta unidad tiene un volumen total aproximado de 270 m^3 (Largo: 9.8 m; ancho: 5.5 m; profundidad: 5.0 m), para un TRH aproximado de 4.5 horas (EDESA S.A E.S.P., 2016).

El oxígeno para el proceso de depuración era suministrado mediante sopladores y difusores en el fondo de las unidades. Los equipos sopladores se ubicaban dentro de una caseta construida encima de la cubierta del reactor.

El efluente de los reactores aerobios es dirigido a un decantador secundario de superficie circular, dotado de un brazo mecánico barrelados y desnatador. La unidad tiene 6.3 m de radio y una profundidad útil de 2.5 m, para un área superficial cercana a los 125 m^2 y un volumen de 312 m^3 . El tiempo de retención TRH estaría cercano a las 5.5 horas y la carga superficial es de 0.46 m^3/h , siendo ambos valores muy apropiados. Los lodos del decantador son extraídos a un pozo de bombeo desde donde es posible enviarlos a los lechos de secado o efectuar retorno de lodos al reactor secundario (EDESA S.A E.S.P., 2016).

Tratamiento Terciario

Una vez el agua residual sale del decantador secundario, antes de ser vertida al río Guamal, recibe como tratamiento de pulimento una desinfección por cloración en un canal de contacto con mezcla hidráulica de flujo horizontal (EDESA S.A E.S.P., 2016).

Tratamiento y disposición de lodos

La planta cuenta con seis (6) lechos de secado, cada uno con dimensiones de 3.2 m de ancho y 6.1 m de largo. Estos lechos están cubiertos con tejas plásticas para protegerlos de la lluvia e incrementar la temperatura para conseguir el secado en menor tiempo. El piso se encuentra cubierto por ladrillos a junta perdida para facilitar el drenaje del agua. Considerando una profundidad de lodos de hasta 0.50 m, la capacidad total de estos lechos es de unos 58.5 m³ de lodo. Una de las paredes divisorias entre lechos, colapsó y fue demolida (EDES S.A E.S.P., 2016).

Marco legal

Decreto 2811 de 1974: Artículo 139 del código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Ley 9 de 1979

Precisa que todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones establecidos, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y la fuente receptora correspondiente.

LEY 142 DE 1994: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

RAS 2000 título E: Tratamiento de aguas residuales.

RAS 2000 título D: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.

Documento Conpes 3177 de 2002: Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.

LEY 812 DE 2003: Por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006. Especifica que se desarrollan medidas para prevenir y controlar la contaminación hídrica, a través de la implementación del Plan de Manejo de Aguas Residuales.

Resolución 1433 De 2004: Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones.

Decreto Nacional 3930 de 2010: por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 2667 de 2012: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Resolución 1207 De 2014: Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico, y es básico para el desarrollo sostenible.

Resolución 0631 del 2015: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

CAPITULO IV

Metodología

Para la realización de este trabajo, se establecieron tres fases; la fase uno (1) corresponde a la identificación del área de estudio, selección de modelo no experimental cualitativo y toma de muestras. En la fase dos (2) se realizará el análisis de las cargas contaminantes y la proyección poblacional para los años 2023, 2028, 2033, 2038 y 2043; por último la fase tres (3), se establecerán las respectivas propuestas de manejo de aguas residuales para la PTAR del municipio.

Fase 1. Área de estudio.

La delimitación del área de estudio, se realizó considerando las actividades socioeconómicas (turismo, mercado, talleres servicio gastronómicos), las condiciones del sistema de alcantarillado y el porcentaje de drenaje de aguas residuales, según el PSMV del Municipio de Guamal – Meta. Entre los cuales fueron seleccionados:

- Distrito central: Drena el 55,3% del área total de sistema de alcantarillado.
- Distrito Sur: Esta cuenca drena el 18% del área total del sistema de alcantarillado.
- Distrito occidental: representa el 25% del área total de drenaje del sistema de alcantarillado.
- Distrito Oriental: Esta cuenca sanitaria drena el 1,7% del área total de sistema de alcantarillado.

Selección de modelo no experimental cualitativo (Diseño factorial 2²)

Se estudió el efecto de interacción de factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores, en donde se determinará el cambio de una variable debido a un cambio de dicho factor. Los factores se definieron de dos tipos:

- Factor cualitativo (Variables independientes): Periodo climático (temporada seca y temporada de lluvias). Estas variables son tomadas en cuenta, ya que en el sistema de alcantarillado de aguas residuales presentan conexiones erradas, las cuales afectan la composición de dichas aguas.
- Factor cuantitativo (Variables dependientes): Se analizaron: Caudal (Q), pH, Temperatura (T°), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Grasas y aceites (G&A), Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Microbiológicos. Los cuales son parámetros representativos de un agua residual doméstica y un efluente secundario (agua residual comercial, industrial y aguas lluvias).

La validación de resultados se realizó por triplicado por cada monitoreo a realizar, el cual representa a un total de 4 monitoreos, en los cuales los análisis de las muestras compuestas y horas pico se realizaron por triplicado cada muestra.

Selección de punto de muestreo.

Se escogió el punto de vertimiento (ver figura 2) ubicado en las coordenadas $3^{\circ}51'29''$ N y $73^{\circ}45'19''$ W, como punto de muestreo para llevar a cabo la caracterización de las aguas residuales domésticas del municipio de Guamal – Meta.



Figura 2 Punto de vertimiento de las aguas residuales domésticas. Tomada por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Toma y preservación de muestras.

La toma de muestras se llevó a cabo bajo los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para las aguas residuales industriales (ARI) o domésticas (ARD), según lo establecido por el IDEAM (IDEAM, 2007) y el RAS 2000 (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 TITULO E, 2000); en el cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Equipos y materiales.

La siguiente es una lista general de los implementos requeridos en el momento del muestreo:

- Equipos portátiles para mediciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica
- Muestreador (botella Van Dorn, Kemmerer o balde).
- Baldes plásticos de 10 L de capacidad, con llave, para la composición de muestras y medición de caudal cuando se requiera.
- Tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta.
- Neveras de icopor o poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C.
- Cinta pegante y de enmascarar.
- Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble.

- Guantes.
- Cono Imhoff para análisis de sólidos sedimentables (cuando se requiera).
- Agua destilada. En su defecto utilizar agua embotellada o de bolsa.
- Recipientes plásticos y de vidrio. Varía según requerimientos de análisis.
- Barretón de hierro para levantar tapas de cajas de inspección.
- Gafas de seguridad.
- Máscara respiradora con filtros para ácidos y vapores orgánicos.
- Impermeable.
- Botas de caucho.

Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua

A continuación en la tabla 6, se presentan los requisitos de conservación y almacenamiento de muestras.

Tabla 6. Requisitos De Conservación y Almacenamiento De Muestras.

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento Recomendado/ Regulatorio
DBO	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	28 d/28 d
Aceites y grasas	Adicionar HCl a pH < 2.0, refrigerar	28d/28d
pH	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
Nitratos-Nitritos	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	7 d/28 d
Fosfatos	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	48 h
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d

Nota: Requisitos de conservación y almacenamiento de muestras IDEAM; Modificado por Diego Pedraza, 2018

Tipo de muestreo y frecuencia.

El muestreo se basó en muestras compuestas, su composición se estableció por caudal, continuando con las recomendaciones del reglamento técnico de saneamiento básico (RAS 2000) de la siguiente manera:

Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace teniendo en cuenta el caudal en el momento de la toma. El volumen de cada alícuota se calculó dividiendo el caudal correspondiente de la alícuota entre la sumatoria de todos los caudales y este valor se multiplica por el volumen que se quiere llenar (RAS, 2000). Con base en la frecuencia del muestreo de los vertimientos se llevaron de acuerdo a las recomendaciones del RAS 2000, donde se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Las tomas de muestras se realizaron en días hábiles y en día no hábil, cada hora durante 24 horas.
- Adicionalmente se tomaron muestras puntuales de los picos máximos y mínimos de caudal para cada día de muestreo.
- Para cada muestra se realizó medición de parámetros in situ, como Caudal, Temperatura, pH; ex situ, como Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Solidos Suspendidos, Solidos Sedimentables, Solidos Totales, Grasas y Aceites y Microbiológicos.

Métodos de medición

Los métodos de medición in situ y en laboratorio se basan en las recomendaciones del IDEAM Y RAS 2000, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Métodos de medición.

Parámetro	Método
Caudal	Volumétrico RAS 2000 E
pH	Multiparámetro (IDEAM)
Temperatura	Multiparámetro (IDEAM)
Demanda Biológica de Oxígeno	Incubación por 5 días (IDEAM)
Solidos Totales	Secados a 103-105°C (IDEAM)
Solidos Sedimentables	Gravimetría
Solidos Suspendidos	Secados a 103-105°C (IDEAM)
Grasas y Aceites	SOXHLET (IDEAM)
Nitratos- Nitritos	Espectrofotometría (IDEAM)
Fosfatos	

Tabla 7. Continuación

Coliformes Fecales y Totales	NMP (IDEAM)
------------------------------	-------------

Nota: Métodos de medición in situ y en laboratorio, basados en las recomendaciones del IDEAM y el RAS 2000.

Fase 2. Análisis de resultados.

Esta fase se llevó a cabo mediante un análisis estadístico de regresión lineal, el cual es un proceso estadístico para estimar las relaciones entre variables dependientes e independientes, por lo cual se tendrán datos suficientes que involucren las variaciones que puedan darse dentro del sistema de alcantarillado y permitan dar una visión del comportamiento del factor que se está estudiando (Romero Rojas, 2014).

Del análisis estadístico se tuvieron en cuenta los siguientes elementos; la mediana que es un dato de tendencia central, valores máximos y mínimos, promedio ponderado que hace referencia a un promedio aritmético donde se dan diferentes grados de importancia a los valores promediados, la desviación estándar que se expresa en porcentaje para facilitar la comparación entre análisis de datos que se cuantifiquen en unidades diferentes de los datos obtenidos de las variables a estudiar (Romero Rojas, 2014) en este caso (variables dependientes e independientes), posteriormente se realizó una correlación de Pearson de los datos para observar el comportamiento de las cargas contaminantes y el sistema de alcantarillado en temporada seca y temporada de lluvia, con el fin de determinar el grado de relación entre las variables. Este análisis estadístico se llevó a cabo a través del software SPSS.

Proyección poblacional

Para llevar a cabo la optimización de la PTAR, se realizó la proyección población de diseño a 25 años; teniendo en cuenta la población de los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2016 según el DANE (DANE, 2009), los métodos de cálculo de proyección que establece el RAS 2000 TITULO B según su nivel de complejidad. Se calculó la población utilizando los siguientes métodos:

El método aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc)$$

Ecuación 1 Método Aritmético, Fuente: RAS Guía 001

Donde:

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

El método geométrico

La ecuación que se emplea para la proyección poblacional es:

$$Pf = Puc (1+r)^{Tf - Tuc}$$

Ecuación 2 De Método Geométrico; Fuente: Ras Guía-001

Donde:

r= Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

Pf = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tf = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc-Tci}} - 1$$

Ecuación 3. Tasa De Crecimiento; Fuente: Guía Ras-001

El método exponencial

Requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, la ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{Kt (Tf-Tci)}$$

Ecuación 4. Ecuación Método Exponencial; Fuente: Guía Ras-001

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

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Ecuación 5. Tasa De Crecimiento De Población; Fuente Guía Ras-001

Donde:

P_{cp} = Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} = Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} = Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} = Año correspondiente al censo anterior.

Ln = Logaritmo natural o neperiano.

Método Wappaus

La ecuación para el cálculo de la proyección de población es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * \frac{(200 + i * (Tf - Tci))}{(200 - i * (Tf - Tci))}$$

Ecuación 6. Ecuación Método Wappaus; Fuente: Guía Ras-001

Donde la tasa de crecimiento (i en %) se calcula de acuerdo con el crecimiento de las poblaciones censadas y se obtienen de la siguiente expresión:

$$i = \frac{200 * (Puc - Pci)}{(Tuc - Tci) * (Pci + Puc)}$$

Ecuación 7.1 Tasa De Crecimiento De Población; Fuente: Guía Ras-001

Método gráfico:

Según el Ras 2000 TITULO B, consiste en comparar gráficamente la población del municipio en estudio con la de otros tres municipios del país con las siguientes características: Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar al del municipio en estudio y obviamente con información confiable en cuanto a crecimiento de la población. El otro municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A) pero con un número de habitantes mayor al de este municipio. El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país con un número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A) y con un desarrollo y clima similar” (RAS, 2000).

Fase 3. Propuestas para la optimización de las aguas residuales para la planta de tratamiento.

De acuerdo con los resultados y los análisis de infraestructura e información sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el sistema de alcantarillado se realizó las respectivas propuestas para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales.

CAPITULO V

Resultados

Datos de precipitación en la zona de estudio.

En la figura 3; se presentan las precipitaciones medias del mes de abril y mayo de 2018 de la estación hidrológica Guamal 35010070 del IDEAM ubicada en Guamal – Meta, con latitud 3.878333 N; longitud -73.758611 W y una altitud de 525 metros sobre el nivel del mar (Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Solicitud de información, 2018).

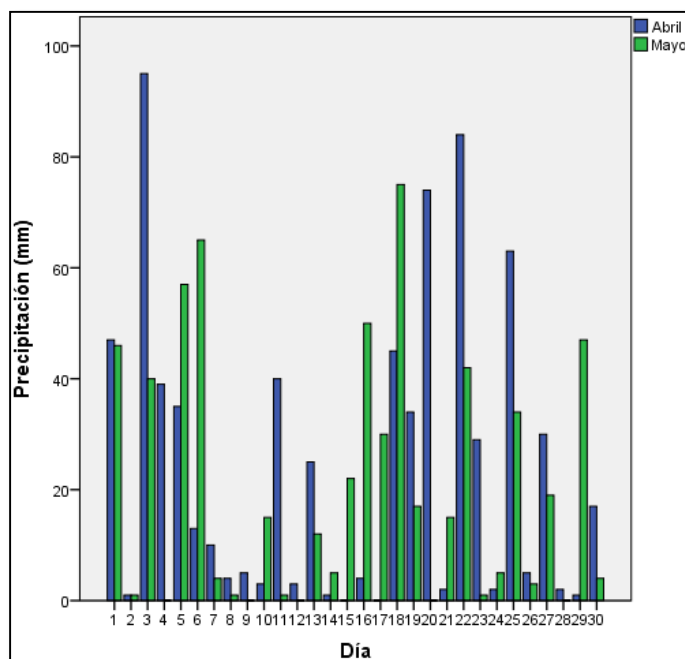


Figura 3 Datos de precipitaciones en los meses abril y mayo. Por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual domestica de Guamal-Meta.

Los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros in situ y ex situ pueden ser observados en Anexo 1 al final del documento, dichos resultados están distribuidos en análisis de muestra compuesta y en horas pico (01:00pm, 08:00pm, 03:00am); estos serán base para el diseño de la PTAR.

Caudales.

El comportamiento de este parámetro durante la caracterización, se determinó en función a la actividad doméstica horaria, de esta forma arroja como resultado el valor mínimo 259,331 L/s, medio 317,230 L/s, máximo 827,878 L/s para temporada seca; un valor mínimo de 440,474 L/s, medio 539,5946 L/s y máximo de 810,282 L/s para temporada de lluvia, como se puede observar en la figura 4 y 5.

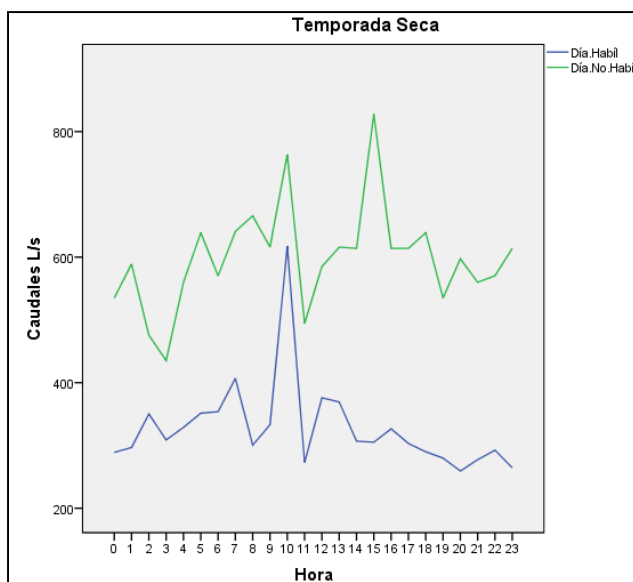


Figura 4 Caudales horarios en temporada seca, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

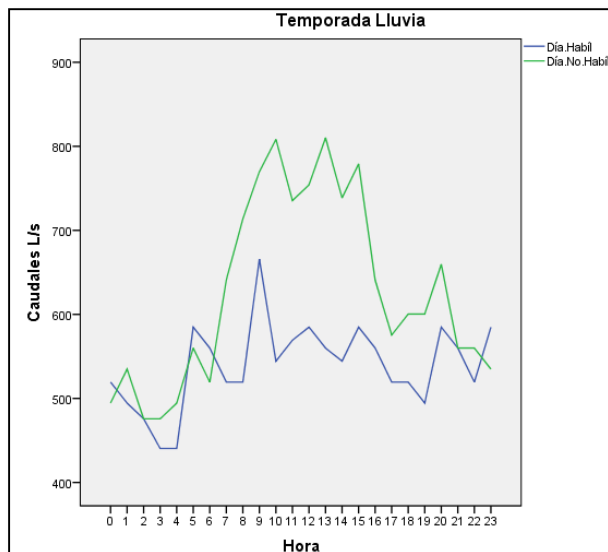


Figura 5 Caudales horarios en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Los caudales de cada temporada durante 24 horas, presenta una variación significativa entre día hábil y día no hábil. Los caudales máximos se presentan en el día no hábil durante las dos temporadas (Temporada Seca: 827.878 L/S; Temporada lluvia 810.282 L/s).

Ahora bien durante la temporada seca ocurre estos incrementos debido a la población flotante que presenta el municipio según el DANE (DANE, 2009).

Temperatura del Vertimiento.

Las figuras 6 y 7 muestran el comportamiento y picos (máximo, medio y mínimo) de los datos de temperatura del vertimiento en las dos temporadas.

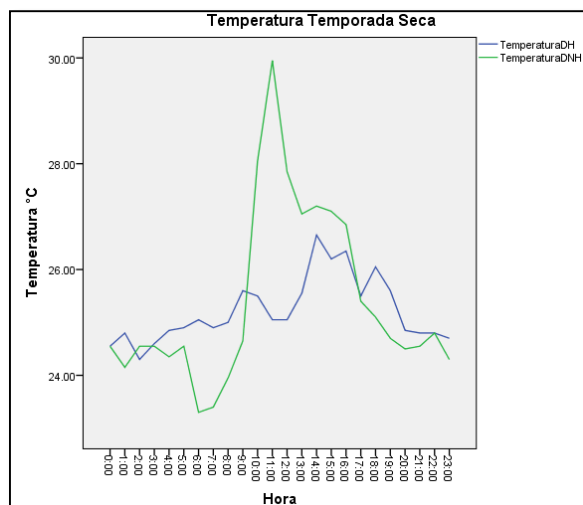


Figura 6. Temperatura horaria en temporada seca, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

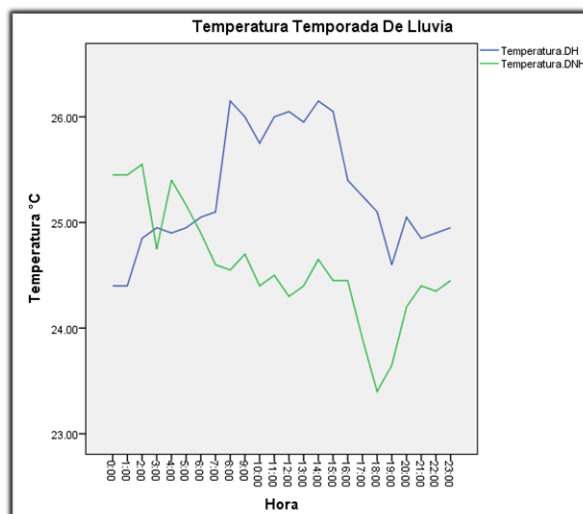


Figura 7. Temperatura horaria en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Las temperaturas obtenidas en muestra compuesta durante la temporada seca oscila en un rango de 25,21°C a 25,39°C, durante la temporada de lluvia oscila en un rango de 24,58°C a 25,28°C; En la temporada seca, la temperatura máxima fue de 29,95°C, la temperatura media fue de 24,7 °C y la temperatura mínima de 23,3°C. Por consiguiente, en la temporada de lluvia, la temperatura mayor fue de 26,15°C, la temperatura media 24,5 °C y la temperatura menor fue de 23,4°C; lo cual indica que se encuentra en el rango de la temperatura óptima para la actividad bacteriana, según Romero Rojas, este rango oscila entre 25°C a 35°C.

En relación a los procesos de tratamiento, la temperatura registrada durante las 24 horas, favorece la reacción biológica, transferencia de oxígeno y la tasa de sedimentación de sólidos; por otra parte las temperaturas registradas cumplen con los valores límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

pH.

El comportamiento de este parámetro durante la temporada seca, oscila en un rango de 6,3 a 6,72 unidad de pH, en el transcurso de 24 horas presenta un valor máximo de 6,61 unidades, un valor medio de 6.32 y un valor mínimo de 6,05 unidades. En la temporada de lluvia oscila en un rango de 6.29 a 6.3unidades, en el transcurso de 24 horas se presentó un pH máximo de 6,49 unidades, un pH medio de 6,20 y un pH mínimo de 6,05 unidades en el vertimiento como se ilustra en las figuras 8 y 9.

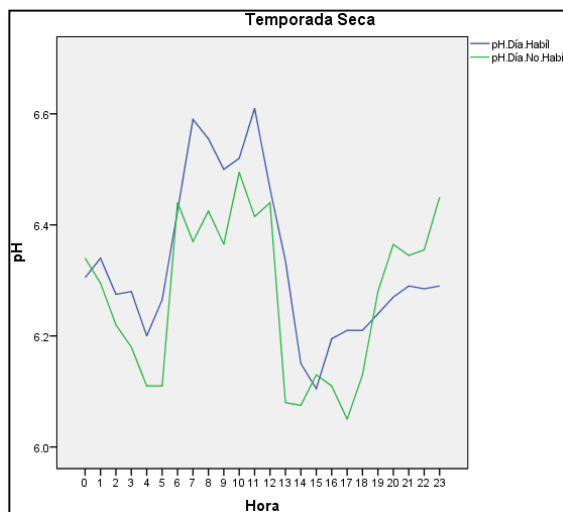


Figura 8. pH horario en temporada seca, por Diego Pedraza Cruz, 2018..

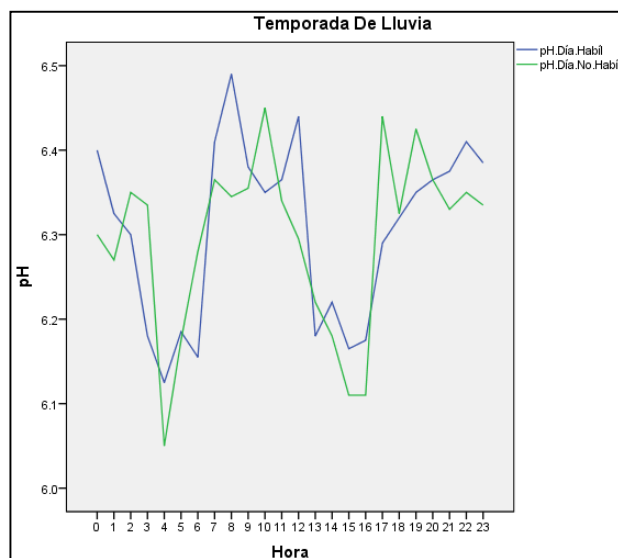


Figura 9. pH horario en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018..

Los valores de pH fueron próximos a la neutralidad típicos de aguas residuales, estos valores determinados durante las dos temporadas son los adecuados para tratamiento biológico, tratamiento químico. En las dos temporadas los valores medidos cumplen con los valores límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015, cuyos valores oscilan entre 6 – 9 unidades de pH.

Demanda Biológica De Oxígeno.

En la medición de este parámetro en la temporada seca se obtiene como resultado valores que oscilan entre 42 mg/L a 66 mg/L y en la temporada de lluvia los valores oscilan entre 63,6 mg/L a 72,6 mg/L, como se observa respectivamente en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores en temporada seca y temporada de lluvia.

Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)	
Temporada seca	Temporada Lluvia
42 – 66	63,6 – 72,6

Nota: Valores de DBO en temporada seca y temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Como resultado de la DBO en la temporada de lluvia y en muestras tomadas en horas pico (3:00 am, 1:00 pm y 8:00 pm) de cada monitoreo realizado en esta temporada, los valores oscilan en un rango de 52,2 mg/L a 226,67 mg/L (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Valores en horas pico de la temporada de lluvia de Demanda Biológica de Oxígeno.

Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)					
Temporada Lluvia en horas pico					
	5-may			8-may	
13:00	20:00	3:00	13:00	20:00	3:00
226,67	153,23	78,57	148,80	75,60	52,20

Nota: Valores de DBO en horas pico en la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

De acuerdo con estos resultados los valores de DBO en las temporadas son bajos con respecto a las características de un agua residual domestica típica, cuyo valor es de 200 mg/L (Romero Rojas, 2014).

Ahora bien, respecto a los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 del 2015, se cumple con la norma, exceptuando la concentración del monitoreo del 8 de mayo del 2018 correspondiente a la temporada de lluvia el cual es de 72,6 mg/L por ende sobre pasa el valor permisible, el cual es de 70,0 mg/L.

Por otra parte, en horas pico durante la temporada de lluvia, las concentraciones oscilan en un rango de 226,67 mg/l a 52,2 mg/l; estas concentraciones incumplen con la norma, exceptuando un dato durante en monitoreo del 8 mayo del 2018 a las 3:00 am, cuyo valor es de 52,2 mg/l (Ver anexo 1 Valores obtenidos ex – situ).

Demanda Química de Oxígeno.

La concentración máxima de este parámetro durante la temporada seca fue de 195 mg/L, la concentración media de 176 mg/L y la concentración minina fue de 157 mg/L; en la temporada de lluvia se presentó una concentración máxima 230 mg/l, una concentración media de 206 mg/l y una concentración mínima de 182 mg/l; como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de DQO en temporada seca y de lluvia.

Demanda Química de Oxígeno (mg/L)					
Temporada seca			Temporada de lluvia		
Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo
195	176	157	230	206	182

Nota: Valores de DQO en temporada seca y temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Tabla 11 Valores de DQO en temporada de lluvia horas pico.

Demanda Química de Oxígeno (mg/L)					
Temporada Lluvia en horas pico					
5-may			8-may		
13:00	20:00	3:00	13:00	20:00	3:00
533,64	450,94	231,21	380,68	222,48	153,61

Nota: Valores de DQO en horas pico en la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

En la temporada de lluvia en horas pico se presentó una concentración máxima de 533,64 mg/L, la concentración media de 328,76 mg/L y la concentración mínima de 153.6 mg/L. Este comportamiento se puede observar en la figura 11.

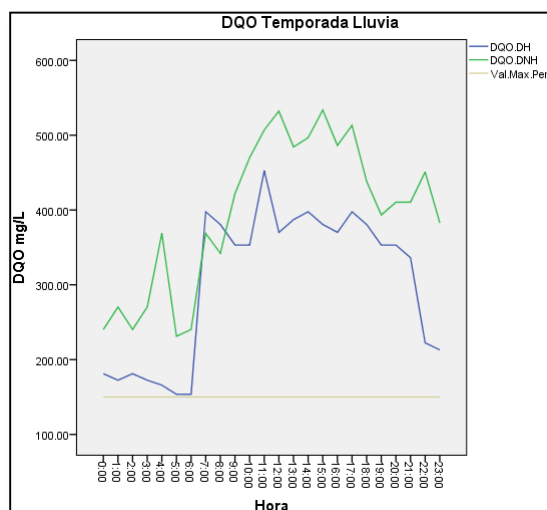


Figura 10. Concentración horaria de DQO en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

De acuerdo a lo anterior, se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores típicos de las características de un agua residual doméstica típica, cuyo valor es de 400 mg/L, sin embargo estos valores son altos con respecto al valor máximo permisible establecido en

la Resolución 0631 del 2015, el cual es de 150 mg/L para aguas residuales domesticas con una carga mayor de 3.000 kg/día.

Nitratos

Los resultados obtenidos durante la temporada seca oscilan en un rango de 75,9 a 68,9 mg/L; durante la temporada de lluvia se presenta una concentración de 32,08 a 32,64 mg/L; entre las dos temporadas; en horas pico durante la temporada de lluvia presenta una concentración mínima de 29,97 mg/L, una concentración media de 38,44 mg/L y una concentración máxima de 46,1 mg/L. Esto se puede observar en la Tabla 12 y 13.

Tabla 12. Valores en temporada seca y de lluvia de Nitrato.

Nitratos	
Temporada seca	Temporada Lluvia
75,9 – 68,9 mg/L	32,08 – 32,64 mg/L

Nota: Valores de Nitratos en temporada seca y temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Tabla 13. Valores en horas pico en temporada de lluvia.

Nitratos						
Fecha	DNH 5-mayo			DH 9-mayo		
Horas Pico TL	13:00	20:00	03:00	13:00	20:00	03:00
Concentración	36,01	31,31	29,98	45,05	42,18	46,10

Nota: Valores de Nitratos en horas pico en la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Ahora bien; la cantidad requerida para la reducción de nitratos y carbono se expresa mediante la relación teórica Carbono/Nitrógeno, la cual indica la cantidad necesaria para la oxidación de la materia. Para procesos aerobios, los valores favorables son de 100mgDBO/5mgN y para procesos anaerobios 10mgDBO/0.5mgN (Lolmede, Jácome, Vidart, & Tejero, 2000)

En la Tabla 14, se puede observar las altas concentraciones de Nitratos y relación teórica Carbono/Nitrógeno, la cual suple las condiciones de oxidación aeróbica y/o anaeróbica de materia orgánica.

Tabla 14. Relación teórica Carbono/Nitrógeno.

Nitratos			
Temporada seca Relación Teórica		Temporada Lluvia Relación Teórica	
Día Hábil	Día no Hábil	Día Hábil	Día no Hábil
13,62	12,37	5,76	5,86

Nota: Resultados de la relación teórica C/N, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Nitritos

Los resultados obtenidos durante la temporada seca están en un rango de $< 0,02$ mg/L; durante la temporada de lluvia oscilan entre 0,02 a 0,03 mg/L; entre las dos temporadas; en horas pico durante la temporada de lluvia presenta una concentración mínima de 0,02 mg/L, una concentración media de 0,03 mg/L y una concentración máxima de 0,08 mg/L. Esto se puede observar en la Tabla 15 y 16.

Tabla 15. Valores en temporada seca y de lluvia de Nitrito.

Nitritos	
Temporada seca	Temporada Lluvia
$< 0,02$ mg/L	0,02-0,03 mg/L

Nota: Valores de Nitritos en temporada seca y temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Tabla 16. Valores en horas pico en temporada de lluvia.

Fecha	Nitritos					
	DNH 5-mayo			DH 9-mayo		
Horas Pico TL	13:00	20:00	3:00	13:00	20:00	3:00
Concentración	0,04	0,02	0,02	0,08	0,05	0,05

Nota: Valores de Nitritos en horas pico en la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

En la Tabla 17, se puede observar las altas concentraciones de Nitritos y relación teórica Carbono/Nitrógeno, la cual suple las condiciones de oxidación aeróbica y/o anaeróbica de materia orgánica.

Tabla 17. Relación teórica Carbono/Nitrógeno.

Nitritos			
Temporada seca Relación Teórica		Temporada Lluvia Relación Teórica	
Día Hábil	Día no Hábil	Día Hábil	Día no Hábil
0,006	0,006	0,009	0,006

Nota: Resultados de la relación teórica C/N, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Fosforo y fosfatos.

Los valores obtenidos de fosforo durante la temporada seca y húmeda son menores a 3,53 mg/L, en la temporada lluvia y en horas picos, se presenta una concentración de fosfatos máxima de 0,332 mg/L, una concentración media de 0,211 mg/L y una concentración mínimo de 0,19 mg/L; como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores de fosforo obtenidos en temporada seca, de lluvia y horas pico.

Temporada seca	Fosforo (mg/L)			
	Temporada de lluvia	Horas pico en temporada de lluvia		
		Máx.	Media	Min.
< 3,53		0,332	0,211	0,19

Nota: Valores de fosforo en la temporada seca, en la temporada de lluvia y horas pico de la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Tabla 19 Valores de Fosfatos obtenidos en temporada de lluvia horas pico.

Fecha	Fosfatos					
	DNH 5-mayo			DH 9-mayo		
Horas Pico TL	13:00	20:00	03:00	13:00	20:00	03:00
Concentración	0.308	0.205	0.19	0.332	0.328	0.19

Nota: Valores de fosfatos en las horas pico en la temporada de lluvia, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

Las aguas residuales domesticas suelen contener entre 6 a 20 mg/L (Romero Rojas, 2014) y se presenta en formas comunes como ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos (Perez, Dautant, Contreras, & Gonzales, 2002), por lo tanto los resultados obtenidos son bajos con respecto a las características de las aguas residuales domesticas típicas.

Grasas y aceites

Los resultados de las muestras compuestas de este parámetro durante la temporada seca oscilan en un rango de 26,6 mg/L a 29,1 mg/L, durante la temporada de lluvia oscila en un rango 1980 mg/L a 7920 mg/L. Mientras que para la temporada de lluvias en los registros en las horas pico (3:00 am, 1:00 pm y 8:00 pm) los valores oscilan entre 60 mg/L a 1000 mg/L, como se en la tabla **20** respectivamente.

Tabla 20. Rangos Grasa y Aceites.

Grasa y Aceites (mg/L)		
Temporada seca	Temporada Lluvia	Horas pico Temporada Lluvia
26,6 – 29,1	1980 – 7920	60 – 1000

Nota: Valores de grasas y aceites en temporada seca, de lluvia y horas pico, por Albert Buenaventura Corredor, 2018.

De acuerdo con esto, las grasas y aceites presentes en las aguas residuales vertidas del municipio están por encima del límite máximo permisible establecido en la Resolución 0631 del 2015; el cual es de 10 mg/L para aguas residuales domesticas con una carga de DBO mayor a 3000 kg/día.

Estos valores altos se presentan debido al posible arrastre de las mismas por las precipitaciones presentadas durante la temporada de lluvia, cabe resaltar que estas grasas y aceites se encuentran diluidas en el cuerpo de agua y serán removidas y/o eliminadas mediante la oxidación de la materia orgánica.

Sólidos.

Sólidos Sedimentables

La cantidad de sólidos sedimentables se estableció por el método volumétrico, mediante el uso del cono Imhoff. Las muestras para la temporada seca su valor es de 4 ml/L y en temporada de lluvia oscila entre un rango de 2,5 ml/L a 4 ml/L. En la temporada de lluvia y en muestras tomadas en horas pico (3:00 am, 1:00 pm y 8:00 pm) de cada monitoreo realizado en esta temporada, los sólidos sedimentables oscilan en un rango de 0,8 ml/L a 5 ml/L, como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Rangos Sólidos Sedimentables.

Sólidos Sedimentables (ml/L)		
Temporada seca	Temporada Lluvia	Horas pico Temporada Lluvia
4	2,5 – 4	0,8 – 5

Nota: Valores de sólidos sedimentables en temporada seca, de lluvia y horas pico, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

De acuerdo con lo anterior, en la temporada seca y de lluvia, los valores obtenidos son bajos según la composición típica (Romero Rojas, 2014), en cuanto al valor máximo permisible (5 mg/L) establecido en la Resolución 0631 del 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015); los monitoreos realizados presentan valores permisibles.

Sólidos Suspendidos

La determinación de este parámetro se realizó mediante el secado a 103-105°C. Se obtuvo para la temporada seca se obtuvo como resultado valores que oscilan entre 58,3 mg/L a 72,8 mg/L; mientras que en temporada de lluvia oscilan entre 1590 mg/L a 2160 mg/L. En el muestreo realizado en la temporada de lluvia los valores oscilan en un rango de 970 mg/L a 1640 mg/L, como se evidencia en la Tabla 22.

Tabla 22. Rangos Sólidos Suspendidos.

Sólidos Suspendidos (mg/L)		
Temporada seca	Temporada Lluvia	Horas pico Temporada Lluvia
58,3 – 72,8	1590 – 2160	970 – 1640

Nota: Valores de sólidos suspendidos en temporada seca, de lluvia y horas pico, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

De acuerdo con lo anterior, en la temporada seca los valores obtenidos son bajos (58,3 mg/L – 72,8 mg/L) y altos en la temporada de lluvia (1590 mg/L – 2160 mg/L) según la composición típica de 220 mg/L de (Romero Rojas, 2014).

Por otra parte, solo uno de los monitoreos realizados presenta un valor permisible que es de 58.3 mg/L y los otros monitoreos están por encima del valor máximo permisible, según lo

establecido en la Resolución 0631 del 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Sólidos Totales

La determinación de este parámetro se realizó mediante el secado a 103-105°C. Se obtuvo que para la temporada seca no se registran datos debido a que el laboratorio TecnoAmbiental SAS no realizó el análisis de este parámetro para esta temporada; mientras que en temporada de lluvia oscilan entre 960 mg/L a 5560 mg/L, como se observa en la tabla 14. Para el muestreo realizado en la temporada de lluvia en las horas pico los valores oscilan en un rango de 3300 mg/L a 5720 mg/L (ver Tabla 23).

Tabla 23. Rango Sólidos Totales.

Sólidos Totales (mg/L)		
Temporada seca	Temporada Lluvia	Horas pico Temporada Lluvia
No reporta	960 – 5560	3300 – 5720

Nota: Valores de sólidos suspendidos en temporada seca, de lluvia y horas pico, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Estos resultados obtenidos son altos y se encuentran muy por encima de la composición típica de aguas residuales de Romero Rojas, cuyo valor es de 720 mg/L.

Análisis estadístico

Con respecto a la correlación del caudal del día hábil y no hábil en la temporada seca, presenta un valor de 0.409 siendo esta una correlación positiva media; ya que en dichos días se presenta un comportamiento similar y un nivel de significancia en dos direcciones de 0.047 indicando una inconstancia de correlación entre variables independientemente del número de muestreos; es decir que probablemente los caudales en día no hábil tienden a aumentar debido a la población flotante, esto consecuencia a la actividad de comercio y servicio que presta el municipio. Es decir que este comportamiento puede variar en un 60% como se observa en la Tabla 24.

Tabla 24. Correlación caudales, temporada seca.

Correlaciones		Caudal.Día.Habíl	Caudal.Día.No.Habíl
Caudal.Día.Habíl	Correlación de Pearson	1	.409*
	Sig. (bilateral)		.047
	N	24	24

Nota: Resultados de la correlación del caudal en temporada seca, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Ahora la correlación del caudal del día hábil y no hábil en la temporada de lluvia, se obtiene un valor de 0.590 como se observa en la Tabla 25, siendo una correlación positiva media alta; este comportamiento de aumento de caudales en ambos días se debe a la precipitación que se presentó, así mismo se obtiene un nivel de significatividad en dos direcciones de 0.002 indicando una constancia entre las variables en condición de la temporada de lluvia.

Tabla 25. Correlación caudal, temporada de lluvia.

Correlaciones		Caudal.Día.Habíl	Caudal.Día.No.Habíl
Caudal.Día.Habíl	Correlación de Pearson	1	.590**
	Sig. (bilateral)		.002
	N	24	24

Nota: Resultados de la correlación del caudal en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Dicho lo anterior y respecto a los aumentos de caudales en los días no hábil durante las dos temporadas, se obtiene una correlación de 0.599 (Ver Tabla 26) indicando un relación positiva, por lo cual estos caudales tienden aumentar por las actividades económicas de servicios, comercio y población flotante en temporada seca; por otra parte en temporada de lluvia estos caudales aumentan en un 4,5% debido a dichas actividades y precipitación. Así mismo se obtiene un nivel de significatividad en dos direcciones de 0.002 indicando una constancia de dicho comportamiento.

Tabla 26. Correlación caudales, temporadas (seca-lluvia).

Correlaciones		Caudal.Día.No.Hábil.Ts	Caudal.Día.No.Hábil.Tl
Caudal.Día.No.Hábil.Ts	Correlación de Pearson	1	.599**
	Sig. (bilateral)		.002
	N	24	24

Nota: Resultados de la correlación de los caudales en temporada seca y temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Por consiguiente, estas correlaciones nos indican que el caudal promedio en temporada de lluvia es determinante para establecer la capacidad hidráulica de diseño, ya que se presentan condiciones ambientales que influyen en la temperatura y pH que pueden afectar el oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demás parámetros o factores que garantizan el crecimiento de microorganismos encargados de asimilar la materia orgánica presente.

Hecha esta salvedad se obtiene una correlación de carga contaminante de los días hábil y no hábil de la temporada de lluvia, donde arroja un valor de 0.413 como se observa en la Tabla 27, lo que indica una correlación medianamente positiva, es decir que estas cargas pueden mantener este comportamiento siempre y cuando se presenten precipitaciones durante dichos días; además se obtiene un nivel de significatividad en dos direcciones de 0.045 indicando una variabilidad de dicho comportamiento, cabe resaltar que este comportamiento depende de la intensidad de la precipitación que se presente independientemente del número de muestreos que se realicen.

Tabla 27. Correlación carga contaminante, temporada de lluvia.

Correlaciones		Carga.Conta.DBO.Día.Hábil	Carga.Conta.DBO.Día.No.Hábil
Carga.Conta.DBO.Día.Hábil	Correlación de Pearson	1	.413*
	Sig. (bilateral)		.045
	N	24	24

Nota: Resultados de la correlación de la carga contaminante en temporada de lluvia, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Análisis microbiológico.

Los resultados obtenidos se presentan en el anexo 1 (Valores obtenidos ex – situ). Dichos resultados fueron evaluados por el laboratorio de TecnoAmbiental durante la temporada seca; no obstante, durante la temporada de lluvia no se realizó la evaluación de este parámetro, ya que la universidad no contaba con el material para la determinación en cantidad de estos parámetros, solo contaba con la determinación de presencia de estos).

Ahora bien, dichos parámetros fueron determinados mediante el método número más probable (NMP), el cual indica un valor de 2419600 NMP/ml de coliformes fecales y totales; siendo estos un indicador de contaminación bacteriana alta, ya que los coliformes son contaminantes del tracto gastro intestinal del hombre como de los animales de sangre caliente y permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas. Esta cantidad de coliformes se debe que el agua residual domestica del municipio no cuenta con ningún tipo de tratamiento, presentando un riesgo sanitario por el consumo de estas aguas y alimentos contaminados.

Carga Contaminante

Los resultados obtenidos de carga contaminante de materia orgánica (DBO y DQO) por el municipio se observan en la Tabla 28.

Tabla 28. Carga contaminante de materia orgánica.

Fecha	Carga Contaminante			
	17-Apr	21-Apr	5-May	8-May
Aporte Kg/Día DBO	1940	3414	3443	3385
Aporte t/año DBO	708	1246	1257	1235
Aporte Kg/Día DQO	7252	10088	9826	10701
Aporte t/año DQO	2647	3682	3586	3906

Nota: Resultados de la carga contaminante de materia orgánica, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

La carga orgánica biodegradable DBO_5 vertida al cuerpo hídrico sin ser tratada durante las temporadas oscila en un rango de 708 t/año a 1257 t/año. Además la carga contaminante química DQO oscila en un rango de 2647 t/año a 3906 t/año; siendo estas una carga contaminante muy alta según el estudio nacional del agua (IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015, 2014).

Con respecto a esto se realizó una comparación del nivel de aporte de carga contaminante por habitante ($Cc \cdot HabDía$) con la ciudad de Villavicencio, ya que presenta características similares como: economía (gastronomía y turismo), temperatura, tiempo y características demográficas (cultura) que se reflejan en la estructura y composición poblacional la cual se puede observar en la Tabla 29.

Tabla 29. Comparación del nivel de carga contaminante entre Villavicencio y Guamal.

Ciudad y/o Municipio	Población 2018	Aporte domestico t/año DBO	Aporte domestico t/año DQO
Villavicencio	492724	7994	14841
Guamal	6937	1112	3455

Nota: Comparación del nivel de carga contaminante entre Villavicencio y Guamal en toneladas/año (t/año), por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Esta comparación de aporte de carga contaminante a cuerpos hídricos, revela que la procedencia de dichas cargas determinadas durante los monitoreos realizados, son generadas exclusivamente por actividades domésticas, turismo, mercado, servicio gastronómico y comercio.

Proyección poblacional.

Para llevar a cabo la optimización de la PTAR, se realizará la proyección poblacional de diseño a 25 años se observa en la Tabla 29, teniendo en cuenta la población de los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2016 reportados según el DANE (Ver reporte de población según el DANE en anexo 3) mediante los métodos de cálculo de proyección que establece el RAS 2000 TITULO B según su nivel de complejidad; la cual es Medio alta a causa de la población actual del municipio. Todas estas proyecciones poblacionales se tienen en cuenta para proyectar la generación de aguas

residuales generadas a tratar durante el periodo de diseño, las cuales se observan en la Tabla 30 Y 31.

Tabla 30. Resultado de proyección personal.

PROYECCIÓN POBLACIONAL						
MUNICIPIO/AÑOS	2018	2023	2028	2033	2038	2043
ARTIMETICO	7059	7441	7824	8206	8588	9047
GEOMETRICO	7070	7496	7948	8427	8935	9585
WAPPUS	7070	26936	7876	29153	30376	31688
COMPARACIÓN GRAFICA	19842	125438	25328	152048	169803	192388
PROMEDIO	10260	41828	12244	49458	54426	60677

Nota: Proyección poblacional a 25 años del municipio de Guamal - Meta, por Diego Pedraza Cruz, 2018.

Tabla 31. Resultados de la proyección por consumo y aporte.

PROYECCIÓN POR CONSUMO Y APOORTE				
Año	Población	Incremento Poblacional (%)	Caudal de ARD	
			Generadas Per capita (l/hab.día)	Caudal de ARD (l/hab.día)
Población 2016			6906	
Dotación neta l/día			140	
2018	7070	36,17		46.567.319
2023	7496	40,43		49.374.142
2028	7948	44,95		52.350.291
2033	8427	49,74	6587	55.505.988
2038	8935	54,82		58.852.075
2043	9585	61,32		63.134.929
2048	10163	67,10		66.941.321

Nota: Resultados de la proyección por consumo y aporte de agua residual doméstica, por Diego Pedraza, 2018.

Dado que la proyección de ARD no corresponde a un orden lógico de crecimiento poblacional, se infiere que los datos de población reportados por el DANE implementados para la proyección poblacional no son un 100% confiable, ya que la proyección de ARD no corresponde con la dotación neta por habitante día; cabe resaltar que según lo afirmado en el Plan Territorial de Salud del Municipio de Guamal – Meta (Alcaldía de Guamal, 2015), existe la problemática de altos niveles de desperdicios de agua lo que ocasiona que el caudal de ARD vertidas sea más alto del esperado.

Evaluación de infraestructura y medidas de manejo para la optimización de la PTAR

Para determinar el estado actual de la planta de tratamiento existente y evaluar su proceso si estuviese en funcionamiento, se realizó una serie de corridas (Ver memoria de cálculo en el anexo 2) para determinar si el tanque aerobio actual es suficiente o no para llevar a cabo su función o si por el contrario se debe realizar una mejora o construir otro u otros tanques más, para su óptimo funcionamiento.

Después de realizar 34 corridas en donde se calcula la capacidad del reactor de lodos activados presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guamal que se encuentra fuera de servicio de acuerdo a las dimensiones del reactor (Ver Tabla 33) y a los requerimientos de diseño para un reactor de lodos activados convencional (Ver Tabla 34) del sistema de tratamiento aerobio existente en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Guamal, se obtiene que la capacidad máxima de caudal a tratar es de 150 L/s por tanque aerobio (Ver memoria de cálculo en el anexo 2). La capacidad máxima de la PTAR es de un caudal promedio diario de 150 L/s, bajo las siguientes condiciones: caudal de recirculación de 50 L/s, DBO salida de 25 mg/L, biomasa de 4057 mg/L, carga volumétrica de 1983 mg/L.día, relación alimento/microorganismos de 0,5. (Ver Tabla 35):

Tabla 32. Dimensiones del reactor.

Área del reactor (m ²)	Profundidad del reactor (m)	Volumen (m ³)
106,48	4.5	472,9

Nota: Dimensiones del reactor existente en la planta de tratamiento de agua residual en Guamal – Meta, por Albert Buenaventura, 2018.

Tabla 33. Requerimientos de diseño para un reactor de lodos activados convencional.

Tiempo retención hidráulica (horas)	Carga volumétrica	Relación Alimento/Microorganismos	Biomasa [X]	Edad de lodos (días)	Recirculación	Eficiencia
3 – 8	300 – 2000	0,2 – 0,6	3000–6000	5 – 15	25 – 90	85 - 95

Nota: Requerimientos de diseño para un reactor de lodos activados convencional para la planta de tratamiento de agua residual en Guamal – Meta, por Albert Buenaventura. 2018.

Tabla 34. Condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales mediante Lodos Activados.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
Volumen Birreactor	m ³	479,2
	L	479160
Caudal Entrada (Q_o)	L/s	150
Caudal Recirculación (Q_r)	L/s	50
Caudal Total en sistema (Q_T)	L/s	200
	m ³ /día	17280
DBO_{in} (S_o)	mg/L	65
	kg/m ³	0,065
DBO_{out} (S)	mg/L	25
	kg/m ³	0,025
DBO_r (S_a)	mg/L	55,00
	kg/m ³	0,055
Constante Y	--	0,6
Constante Kd	--	0,06
Tiempo Retención Celular (Ø_c)	Días	10
Tiempo Retención Hidráulica	Horas	5
Biomasa (X)	mg/L	4057
Carga Volumétrica COV	mg/L.día	1983
Relación Alimento/Microorganismos (A/M)	gDBO/gSS	0,5

Nota: Condiciones óptimas para el tratamiento de aguas residuales mediante Lodos Activados en la planta de tratamiento de agua residual en Guamal – Meta, por Albert Buenaventura, 2018.

De acuerdo con los datos obtenidos de las proyecciones poblacionales y de caudales determinados durante los monitoreos, se determina que para que la planta de tratamiento de agua residual opere en óptimas condiciones durante los siguientes 25 años, se requieren de tres tanques aerobios más, es decir, cuatro tanques aerobios en total, con las dimensiones que se observan en la Tabla 31; con condiciones similares o mejores a las que se observan en la Tabla 33, para poder cumplir con la normatividad vigente para vertimientos de aguas residuales domésticas. Por ende el resto del sistema de tratamiento (Barredor de lodos, tanque de desinfección y lecho secado de lodos) no tiene la capacidad de tratar estas aguas residuales domésticas.

Propuestas de manejo

A condición de las corridas del reactor de lodos activados presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guamal-Meta y al crecimiento de los sólidos suspendidos en el retorno de lodos, que a su vez depende del crecimiento de la masa biológica en el reactor, como se observa en la tabla 28. De acuerdo a lo anterior se recomienda:

1. Recuperar todos los sistemas de tratamientos existentes en la PTAR del Municipio de Guamal-Meta; estos sistemas poseen una capacidad máxima de caudal a tratar de 150 l/s y el cual corresponde al 28,57% del caudal de estudio.
2. Se recomienda realizar campañas de minimización de caudales de infiltración, afluentes y conexiones erradas al sistema y desperdicios de agua, ya que estos aumentan innecesariamente el tamaño de la PTAR.
3. Ampliar en las mismas proporciones, es decir: implementar (3) tres barredores de lodos, (3) tres tanques de desinfección y (3) tres lechos de secado de lodos; de esta forma se tiene la capacidad para tratar las ARD generadas durante las dos temporadas.
4. Cumplir con los periodos de purga de 10 días y un tiempo de retención hidráulica de 3 a 8 horas para mantener la concentración de SSLM en el valor de estado óptimo.
5. realizar la aplicación de fosforo en el proceso biológico, ya que no se suple con las condiciones de relación teórica 100 mg Carbono/ 1g Fosforo para la degradación de la materia orgánica, ya que los el sistema de lodos activos contienen un gran número de microorganismo oxidantes de nutrientes (Nitrógeno/Fosforo), los cuales requieren una concentración estricta de estos.

Discusión de resultados.

Con la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se obtuvo suficiente información sobre los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en dicha agua residual. Ahora bien, el municipio de Guamal-Meta presenta una variación de caudales del día hábil y no hábil de cada temporada durante 24 horas, donde los caudales máximos se presentan en el día no hábil durante las dos temporadas (Temporada Seca: 827.878 L/S; Temporada lluvia 810.282 L/s). Posiblemente, este caudal máximo es mayor en temporada seca debido a las actividades económicas del municipio anteriormente mencionadas, las cuales se realizan durante la horas pico; cabe resaltar que el caudal máximo reportado durante la temporada de lluvia es afectado por las precipitaciones reportadas por el IDEAM (Ver figura 3) que a la vez disminuye las actividades económicas del municipio, afectando así el comportamiento de este parámetro.

Simultáneamente entre temporadas los parámetros presentaron una relación directamente proporcional al caudal. Por lo tanto a un mayor caudal, mayor DBO, DQO, Solidos Suspendidos, Solidos Totales, Grasas y Aceites, con excepción de Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Temperatura, y pH; esto se debe al aporte generado por la precipitación en el sistema de recolección de aguas residuales domesticas del municipio.

Por otra parte la temperatura que se presenta durante la temporada seca y lluvia, favorece el crecimiento óptimo de bacterias y su actividad; se afirma que la tasa de crecimiento se dobla para un crecimiento de 10°C hasta que se alcanza la temperatura optima, de acuerdo con este comportamiento las bacterias que se pueden presentar son las Mesófilas ya que su temperatura óptima se encuentra entre los 25-45°C; Incluye microorganismos patógenos y comensales del hombre y animales de sangre caliente. No obstante, cabe resaltar que se pueden presentar bacterias Psicrófilos facultativos ya que pueden crecer a temperaturas superiores e inferiores de 25°C. En relación a los procesos de tratamiento, la temperatura registrada durante las 24 horas, favorece la reacción biológica, transferencia de oxígeno y la tasa de sedimentación de sólidos. Por consiguiente los valores de pH fueron próximos a la neutralidad típicos de aguas residuales

domésticas, estos valores determinados durante las dos temporadas son los adecuados para tratamiento biológico, tratamiento químico, la existencia de la mayoría de vida biológica, degradación de materia orgánica y eliminación de nutrientes.

Ahora bien, la DBO_5 durante las dos temporadas oscila en un rango de 42 mg/l a 72 mg/l y en horas pico durante la temporada de lluvia oscila en un rango de 226,67 mg/l a 52,2 mg/l. No obstante la DQO durante las dos temporadas oscila en un rango de 157 mg/l a 230 mg/l y en horas pico durante la temporada de lluvia oscila en un rango de 533 mg/l a 153 mg/l; siendo unas concentraciones bajas para las características de un agua residual domestica típica según (Romero Rojas, 2014).

Vinculado a esto, la degradación de la materia orgánica e inorgánica corresponde a la cantidad de DBO y DQO presentes en las aguas residuales, donde la tasa de oxidación bioquímica de la materia es directamente proporcional a la cantidad de materia biodegradable presente (cuando la DBO Y DQO aumenta, la carga contaminante aumenta en una proporción constante). Estas cargas contaminante oscilan en entre 1940 kg/Día a 3385 kg/Día entre las dos temporadas y en horas pico durante la temporada de lluvia oscila en un rango de 15869 Kg/Día a 1987 Kg/Día; estas cargas pueden ser reducidas mediante diferentes tratamientos, siendo el tratamiento biológico aerobio más eficientes según las características que se presentan.

Simultáneamente, el proceso biológico aerobio también es útil para la eliminación de nutrientes (N, P) como en el proceso de nitrificación y desnitrificación. Esta observación se relaciona con las concentraciones de nitritos que varían de 0,02 mg/l a 0,03 mg/l y 32,8 mg/l a 75,9 mg/l de nitratos. La cantidad requerida para la reducción de nitratos, nitritos y carbono se expresa mediante la relación teórica Carbono/Nitrógeno, la cual indica la cantidad necesaria para la oxidación de la materia; para procesos aerobios, los valores favorables son de 100mgDBO/5mgN y para procesos anaerobios 10mgDBO/0.5mgN. Acorde a la condición de la relación teórica Carbono/Nitrógeno, dichas concentraciones suplen con las condiciones de oxidación aeróbica y/o anaeróbica de la materia orgánica.

Con respecto a la concentración de fosforo, oscila en un rango menor a 3,53 mg/l entre las dos temporadas y un concentración de fosfatos de 0,308 mg/l a 0,19 mg/l en temporada de lluvia; siendo estas concentraciones muy bajas, en respecto al contenido típico de aguas residuales domesticas que oscila entre 6 y 20 mg/l. ahora bien según la relación de Carbono/ Fosforo, esta oxidación se puede realizar únicamente por un proceso biológico anaerobio.

Por otra parte, para la remoción de grasas y aceites no es necesario de la trampa de grasas, esto debido a que las grasas presentes son solubles y hacen parte de la DBO, por lo tanto su remoción se realiza mediante la disminución de DBO en el tratamiento correspondiente.

Dado que las condiciones de los sólidos sedimentables son óptimas y cumplen con los valores máximos permisibles; por otra parte para la sedimentación de los mismo seria por un proceso físico, el cual es aprovechar la diferencia de densidad entre las partículas presentes y el agua, lo que genera que los sólidos más pesados se precipiten al fondo del barredor de lodos. Para el caso de los sólidos suspendidos, su remoción se realiza por medio de un tratamiento secundario mediante un sistema de biomasa en suspensión y se refiere a la formación de una masa de microorganismos activos capaz de estabilizar un desecho orgánico bajo condiciones aerobias. El ambiente aerobio se logra mediante aireación difusa o mecánica en un tanque de aireación. Después de tratado el sólido en el tanque de aireación, la biomasa es separada en un sedimentador secundario, a medida que las bacterias reciben el oxígeno, consumen la materia orgánica del agua residual y la transforma en sustancias más simples (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutiérrez, 2013).

Conclusiones

- Los resultados de la caracterización de las aguas residuales vertidas, permitieron establecer relaciones que caracterizan la calidad de agua a tratar entre temporadas, tales como: Relación teórica de DBO_5 /Nitrógeno/Fosforo igual a 100g DBO_5 /9.40gN/3.53g P, DBO promedio = 176 mg/l, DQO promedio = 19.76 mg/l, pH promedio = 6.41 unidades, Temperatura promedio = 24.90°C, Sólidos Suspendedos promedio = 970.27 mg/l, Sólidos Totales promedio = 3260 mg/l, Grasas y Aceites promedio = 3260 mg/l y Caudal promedio = 574.87 l/s.
- El comportamiento de los caudales registrados en temporada de lluvia oscila en un rango de 440.475 l/s a 810.282 l/s, los cuales determinan las características hidráulicas de diseño, ya que se presenta aguas lluvias que influyen en la temperatura y pH que pueden afectar el oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demás parámetros o factores que garantizan el crecimiento de microorganismos encargados de asimilar la materia orgánica presente.
- Las concentraciones desfavorables de fósforo presente en el agua residual doméstica oscila entre 0.06 mg/l a 0.1 mg/l, la cual requiere que se le suministre para oxidar la materia orgánica mediante procesos aerobios y garantizar la vida microbiana.
- Con respecto a la infraestructura de la PTAR, el reactor de lodos activados debe cumplir con un caudal de entrada de 150 l/s, caudal total en sistema de 200 l/s y una recirculación de caudal de 25 a 90% según la carga volumétrica a tratar.
- Para la optimización de la PTAR se recomienda, recuperar todo el sistema de tratamiento y ampliar a un número de 3 reactores de lodos activados, 3 tres barredores de lodos, 3 tanques de desinfección y tres lecho de secado de lodos; con el fin de tratar las ARD generadas y futuras durante las dos temporadas

- Los valores de los parámetros de diseño y operacionales del reactor de lodos activados convencional pueden ajustarse con cambios en el proceso como: tiempo de retornos, aumento de la purga, en excepción de aumento de caudal. Los rangos oscilan en unos valores de: 0.2 a 0.6 gDBO/gSSVLM para la relación Alimento/Microorganismos (A/M), 300 a 2000 gDBO/m³día para la carga volumétrica COV, 3000 a 6000 mg/L para la concentración de biomasa en el reactor y de 5 a 15 días para la edad de los lodos.
- El nivel los sólidos en el reactor debe mantenerse entre un valor de 3550 a 4564 mg/L con el fin de obtener un lodo de purga altamente concentrado.

Referencias Bibliográficas

Alcaldía de Guamal. (2015). Plan Territorial de Salud del Municipio de Guamal, Meta 2012 - 2105. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/Documentos%20PDF/elguamametapts2012-2015.pdf>

Alianza por el agua. (2015). Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Asociación Colombiana De Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (diciembre de 2016). Obtenido de <http://www.acodal.org.co/70-de-las-aguas-servidas-en-el-pais-no-son-tratadas-y-generan-contaminacion-acodal/>

Banco Mundial. (31 de diciembre de 2013). Recuperado el 2017, de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Carrasco Quiroz, C. A. (abril de 2007). Tratamiento físico químico de aguas residuales. Memorias. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/carrasco_c/sources/carrasco_c.pdf

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico (CRA). (septiembre-octubre de 2009). Caracterización fisicoquímica de los vertimientos de aguas residuales industriales hacia los cuerpos de agua del departamento del atlántico y monitoreo de la calidad y estado actual de las fuentes hídricas del departamento. Recuperado el 5 de octubre de 2017, de <http://www.crautonomia.gov.co/documentos/pomcas/Recurso%20Hidrico/INFORME%20FINAL%20C.R.A.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (mayo de 2009). DANE Información Estratégica. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Proyecciones_poblacion.pdf

EDESA S.A. E.S.P. (2009). Plan de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio de Guamal-Meta. Gobernación del Meta, Villavicencio

Grupo de Biodiversidad del Caribe Colombiano, U. d. (30 de diciembre de 2011). Caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del

rio cesar, Valledupar 2011 Corpocesar. Obtenido de <https://www.corpocesar.gov.co/files/1.informe%20vertimientos.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (10 de septiembre de 2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Obtenido de: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), (2014). Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (Julio de 2018). Solicitud de información. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>.

Lizarazo Becerra, J. M., & Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Lolmede, P., Jácome, A., Vidart, T., & Tejero, I. (3 de septiembre de 2000). Tratamiento de aguas residuales con elevado contenido de nitratos utilizando reactores biomembrana aireados. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/2843/73article3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio de Desarrollo económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf

Ministerio de Vivienda. (2013). Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S. A. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%200002.pdf>

Ministerio de Vivienda. (2013). Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOBB%20030714.pdf>

Perez, M. L., Dautant, R., Contreras, A., & Gonzales, H. (31 de octubre de 2002). Remoción de fosforo y nitrógeno en aguas residuales utilizando un reactor discontinuo secuencial. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-106.pdf>

Resolución 631. (17 de marzo de 2015). 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. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=70346>

Romero Rojas, J. A. (2014). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Escuela Colombiana De Ingeniería.

Súperintendencia de Servicios Públicos. (2013). Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Obtenido de: <https://docplayer.es/17466951-Informe-tecnico-sobre-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia.html>

Toro Galvis, J., & Rivera Guerrero, X. (2013). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la PTARi de la empresa de jugos Hit de la ciudad de Pereira. Trabajo de grado. Universidad Tecnológica De Pereira Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3898/62839G182.pdf;jsessionid=76E02A93C275A8383D9E884B2E6A9905?sequence=1>

Anexos

Anexo 1. Valores obtenidos de parámetros in situ.

Temporada seca						
Hora	Día Hábil			Día No Hábil		
	CAUDAL	pH	Temperatura	Caudal	pH	Temperatura
0:00	289.03	6.31	24.55	534.97	6.34	24.55
1:00	296.67	6.34	24.8	588.97	6.295	24.15
2:00	350.31	6.28	24.3	475.76	6.22	24.55
3:00	308.72	6.28	24.6	435.26	6.18	24.55
4:00	328.85	6.20	24.85	559.93	6.11	24.35
5:00	351.43	6.27	24.9	638.88	6.11	24.55
6:00	353.75	6.43	25.05	570.26	6.44	23.3
7:00	406.90	6.59	24.9	640.93	6.37	23.4
8:00	300.57	6.56	25	665.88	6.425	23.95
9:00	332.91	6.50	25.6	615.97	6.365	24.65
10:00	617.61	6.52	25.5	763.54	6.495	28.05
11:00	273.03	6.61	25.05	494.47	6.415	29.95
12:00	375.81	6.47	25.05	584.88	6.44	27.85
13:00	369.26	6.34	25.55	615.97	6.08	27.05
14:00	306.94	6.15	26.65	613.93	6.075	27.2
15:00	305.16	6.11	26.2	827.88	6.13	27.1
16:00	326.56	6.20	26.35	613.93	6.11	26.85
17:00	303.22	6.21	25.5	613.93	6.05	25.4
19:00	289.95	6.21	26.05	638.88	6.13	25.1
18:00	279.89	6.24	25.6	534.97	6.28	24.7
20:00	259.33	6.27	24.85	597.26	6.365	24.5
21:00	277.39	6.29	24.8	559.93	6.345	24.55
22:00	292.56	6.29	24.8	570.26	6.355	24.8
23:00	264.42	6.29	24.7	613.93	6.45	24.3

Temporada De Luvia						
	Día Hábil			Día No Hábil		
Hora	CAUDAL	pH	Temperatura	Caudal	pH	Temperatura
0:00	519.43	6.4	24.4	494.47	6.3	25.45
1:00	494.47	6.325	24.4	534.97	6.27	25.45
2:00	475.76	6.3	24.85	475.76	6.35	25.55
3:00	440.47	6.18	24.95	475.76	6.335	24.75
4:00	440.47	6.125	24.9	494.47	6.05	25.4
5:00	584.88	6.185	24.95	559.93	6.175	25.165
6:00	559.93	6.155	25.05	519.43	6.28	24.9
7:00	519.43	6.41	25.1	640.93	6.365	24.6
8:00	519.43	6.49	26.15	713.64	6.345	24.55
9:00	665.88	6.38	26	769.78	6.355	24.7
10:00	544.38	6.35	25.75	808.14	6.45	24.4
11:00	569.33	6.365	26	735.43	6.34	24.5
12:00	584.88	6.44	26.05	754.14	6.295	24.3
13:00	559.93	6.18	25.95	810.28	6.22	24.4
14:00	544.38	6.22	26.15	738.59	6.18	24.65
15:00	584.88	6.165	26.05	779.09	6.11	24.45
16:00	559.93	6.175	25.4	640.93	6.11	24.45
17:00	519.43	6.29	25.25	575.47	6.44	23.9
19:00	519.43	6.32	25.1	600.43	6.325	23.4
18:00	494.47	6.35	24.6	600.43	6.425	23.65
20:00	584.88	6.365	25.05	659.64	6.365	24.2
21:00	559.93	6.375	24.85	559.93	6.33	24.4
22:00	519.43	6.41	24.9	559.93	6.35	24.35

- Valores obtenidos ex – situ.

MONITOREOS GUAMAL META				
ANÁLISIS FISICOQUIMICOS				
PARAMETROS	17-Apr	21-Apr	5-May	8-May
DBO5 mg/L	42	66	63.6	72.6
DQO mg/L	157	195	182	230
Ph	6.34	6.72	6.29	6.3
Temperatura °C	25.26	24.7	24.5	25.28
OXIGENO DISUELTO mg/L			7.6	7.8
GRASAS Y ACEITES mg/L	22.6	29.1	1980	7920
NITRATOS	75.9	68.9	32.08	32.64
NITRITOS	< 0,02	< 0,02	0.03	0.02
NITROGENO AMONICAL	4.1	3.3	-	-
NITROGENO TOTAL	9	13	-	-
FOSFORO TOTAL	< 3,53	< 3,53	< 3,53	< 3,53
SOLIDOS SEDIMENTABLES	4	4	2.5	4
SOLIDOS SUSPENDIDOS	72.8	58.3	2160	1590
SOLIDOS TOTALES	-	-	5560	960
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS				
COLIFORMES FECALES	2419600	2419600	2419600	2419600
COLIFORMES TOTALES	2419600	2419600	2419600	2419600
Vertimiento				
CAUDALES L/S	534.5946	598.7733	626.52217	539.5946

MONITOREO GUAMAL META HORAS PICOS						
ANALISIS FISICO QUIMICO						
PARAMETROS	5-May			8-May		
	13:00	20:00	3:00	13:00	20:00	3:00
DBO5 mg/L	226.67	153.23	78.5667	148.8	75.6	52.2
DQO mg/L	533.64437	450.94	231.206	380.7	222.48	153.614
Ph	6.22	6.365	6.335	6.38	6.175	6.18
Temperatura °C	24.4	24.2	24.75	26	25.4	24.95
OXIGENO DISUELTO mg/L	7.53	7.6467	7.67	7.66	7.57	7.58
GRASAS Y ACEITES mg/L	450	1000	110	850	60	380
NITRATOS	36.01	31.31	29.9783	45.05	42.176	46.1016
NITRITOS	0.04	0.02	0.02	0.08	0.05	0.05
FOSFATOS	0.308	0.205	0.19	0.332	0.328	0.19
SOLIDOS SEDIMENTABLES	4	4	1.5	5	4	1.5
SOLIDOS SUSPENDIDOS	1500	1500	1640	1320	1190	970
SOLIDOS TOTALES	5460	4700	5380	3300	5720	4540
VERTIMIENTOS						
CAUDALES L/S	810.282	659.64	475.76	559.9	584.88	440.474

Anexo 2. Memoria de cálculo para evaluar la capacidad del reactor.

Volúmen Biorreactor (m3)	Volúmen Biorreactor(L)	Caudal Qo (L/s)	Qrec (L/s)	Q (Qo-Qrec) (L/s)	Q (Qo-Qrec) (m3/día)	DBOin (So) [mg/L]	DBOin (So) [kg/m3]	DBOout (S) [mg/L]	DBOout (S) [mg/L]	Sa [mg/L]	Sa [kg/m3]	Constante Y	Constante Kd	Tiempo retención celular(θc) [días]	Tiempo retención hidráulica [hrs]	Biomasa (X) (mg/L)	Carga volumétrica COV (mg/L.día)	AM	Eficiencia
4792	479160	630	315	945	81648	65	0.065	30	0.030	5333	0.053	0.6	0.06	15	5	18834	9088	05	53.8
4792	479160	550	315	865	74736	65	0.065	30	0.030	5225	0.052	0.6	0.06	15	5	16442	8150	05	53.8
4792	479160	310	315	625	54000	65	0.065	30	0.030	4736	0.047	0.6	0.06	15	5	9267	5337	06	53.8
4792	479160	300	315	615	53136	65	0.065	30	0.030	4707	0.047	0.6	0.06	15	5	8898	5200	06	53.8
4792	479160	280	250	530	45792	65	0.065	30	0.030	4849	0.048	0.6	0.06	15	5	8370	4634	06	53.8
4792	479160	250	230	480	41472	65	0.065	30	0.030	4823	0.048	0.6	0.06	15	5	7474	4174	06	53.8
4792	479160	230	200	430	37152	65	0.065	30	0.030	4872	0.049	0.6	0.06	10	5	5443	3778	07	53.8
4792	479160	230	200	430	37152	65	0.065	25	0.025	4640	0.046	0.6	0.06	10	5	6221	3597	06	61.5
4792	479160	230	200	430	37152	65	0.065	20	0.020	4407	0.044	0.6	0.06	10	5	6999	3417	05	69.2
4792	479160	230	200	430	37152	65	0.065	15	0.015	4174	0.042	0.6	0.06	10	5	7776	3237	04	76.9
4792	479160	230	200	430	37152	65	0.065	10	0.010	3942	0.039	0.6	0.06	10	5	8534	3056	04	84.6
4792	479160	220	200	420	36288	65	0.065	30	0.030	4833	0.048	0.6	0.06	10	5	5207	3660	07	53.8
4792	479160	200	110	310	26784	65	0.065	30	0.030	5238	0.053	0.6	0.06	10	5	4733	2939	06	53.8
4792	479160	200	110	310	26784	65	0.065	25	0.025	5081	0.051	0.6	0.06	10	5	5409	2840	05	61.5
4792	479160	200	110	310	26784	65	0.065	20	0.020	4903	0.049	0.6	0.06	10	5	6086	2741	05	69.2
4792	479160	200	110	310	26784	65	0.065	15	0.015	4726	0.047	0.6	0.06	10	5	6762	2642	04	76.9
4792	479160	200	100	300	25920	65	0.065	30	0.030	5333	0.053	0.6	0.06	10	5	4733	2885	06	53.8
4792	479160	200	100	300	25920	65	0.065	25	0.025	5167	0.052	0.6	0.06	10	5	5409	2795	05	61.5
4792	479160	200	100	300	25920	65	0.065	20	0.020	5000	0.050	0.6	0.06	10	5	6086	2705	04	69.2
4792	479160	200	100	300	25920	65	0.065	15	0.015	4823	0.048	0.6	0.06	10	5	6762	2615	04	76.9
4792	479160	180	80	260	22464	65	0.065	30	0.030	5423	0.054	0.6	0.06	10	5	4280	2542	06	53.8
4792	479160	180	80	260	22464	65	0.065	25	0.025	5269	0.053	0.6	0.06	10	5	4889	2470	05	61.5
4792	479160	180	80	260	22464	65	0.065	20	0.020	5115	0.051	0.6	0.06	10	5	5477	2398	04	69.2
4792	479160	180	80	260	22464	65	0.065	15	0.015	4962	0.050	0.6	0.06	10	5	6086	2326	04	76.9
4792	479160	180	50	230	19872	65	0.065	30	0.030	5729	0.057	0.6	0.06	10	5	4280	2380	06	53.8
4792	479160	180	50	230	19872	65	0.065	25	0.025	5630	0.056	0.6	0.06	10	5	4889	2335	05	61.5
4792	479160	180	50	230	19872	65	0.065	20	0.020	5522	0.055	0.6	0.06	10	5	5477	2290	04	69.2
4792	479160	150	50	200	17280	65	0.065	30	0.030	5625	0.056	0.6	0.06	10	5	3350	2029	06	53.8
4792	479160	130	50	200	17280	65	0.065	25	0.025	5500	0.055	0.6	0.06	10	5	4167	1983	05	61.5
4792	479160	130	50	200	17280	65	0.065	20	0.020	5375	0.054	0.6	0.06	10	5	4564	1938	04	69.2

Anexo 3. Memorias de cálculo proyección poblacional.

- Cálculo de método aritmético

METODO CONSTANTE DE PROYECCION POBLACIONAL					
Año Censos	2005	2006	2007	2008	2016
Cumular habitantes	6045	6130	6224	6312	6906

Ka 2005	78.273
Ka 2006	77.600
Ka 2007	75.778
Ka 2008	74.250

CENSO/Pf	2018	2023	2028	2033	2038	2044	2049
2005	7063	7454	7845	8237	8628	9098	9489
2006	7061	7449	7837	8225	8613	9079	9467
2007	7058	7436	7815	8194	8573	9028	9407
2008	7055	7426	7797	8168	8540	8985	9356
PROMEDIO	7059	7441	7824	8206	8588	9047	9430

- Cálculo de Método geométrico

METODO CONSTANTE DE PROYECCION POBLACIONAL					
Año Censos	2005	2006	2007	2008	2016
Población	6045	6130	6224	6312	6906

r: tasa de crecimiento anual.

Año	2005	2006	2007	2008
r	0.0122	0.0120	0.0116	0.0113

CENSO/Pf	2018	2023	2028	2033	2038	2044	2049
2005	7075	7517	7986	8484	9013	9692	10297
2006	7073	7507	7968	8457	8977	9642	10234
2007	7067	7488	7933	8405	8905	9544	10111
2008	7063	7471	7903	8360	8844	9461	10008
PROMEDIO	7070	7496	7948	8427	8935	9585	10163

- Cálculo del Método de wappus

METODO CONSTANTE DE PROYECCION POBLACIONAL					
Año Censo	2005	2006	2007	2008	2016
Población	6045	6130	6224	6312	6906

i=1964	1.209
i=1973	1.191
i=1985	1.154
i=1993	1.123

CENSO/PF	2018	2023	2028	2033	2038	2043	2048
2005	7076	7521	7997	8508	9057	9649	10290
2006	7073	7510	7978	8478	9015	9593	10217
2007	7068	7490	7941	8422	8936	9489	10083
2008	7063	85222	7590	91203	94497	98022	101801
PROMEDIO	7070	26936	7876	29153	30376	31688	33098

- Cálculo del Método de comparación grafica

METODO COMPACION GRAFICA												
MUNICIPIO/AÑO	2005	2006	2007	2008	2016	2018	2023	2028	2033	2038	2043	2048
Guamal	6045	6130	6224	6312	6906	7066	13958	7883	15262	15966	16773	17563
Acacias	44786	45992	47292	48612	59528	62704	451343	80293	544141	604852	679482	773447
Cubarral	2967	3068	3165	3263	3976	4177	12960	5279	15700	17416	19554	22042
Castilla La Nueva	3169	3334	3501	3664	5021	5422	23491	7858	33091	40978	53743	77626
Promedio	14241.8	14631	15045.5	15462.75	18857.8	19842.032	125438	25328	152048	169803	192388	222669

- Proyección poblacional final

PROYECCIÓN POBLACIONAL							
MUNICIPIO/AÑOS	2018	2023	2028	2033	2038	2043	2048
ARITMETICO	7059	7441	7824	8206	8588	9047	9430
GEOMETRICO	7070	7496	7948	8427	8935	9585	10163
WAPPUS	7070	26936	7876	29153	30376	31688	33098
COMPARACION GRAFICA	19842	125438	25328	152048	169803	192388	222669
PROMEDIO	10260	41828	12244	49458	54426	60677	68840

Anexo 4. Cálculos.

Fórmula para el cálculo de caudales a partir de tubo lleno

$$Q = \frac{A * D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

DBO₅ Formula de laboratorio

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(OD_{inicial} - OD_{final})}{Valicuota} \times V_{frasco}$$

DQO Curva patrón

$$Muestra DQO = (-214,4 * Absorbancia) - 33,26$$

Grasas y aceites

$$\text{Grasas y aceites} = \frac{(\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial})}{\text{Volumen}}$$

Gasto per capital

$$\text{Caudal}_{\text{percapital}} = \frac{(\text{Caudal}_l \times 86400)}{\text{Polacion}}$$

Carga Contaminante

$$\text{Carga}_{\text{Kg/Día DBO}_5} = \text{Caudal}_{\frac{l}{\text{día}}} \times \text{DBO}_{5\frac{kg}{l}}$$

LODOS ACTIVADOS**Tiempo Medio De Retención Hidráulico**

$$\emptyset = \frac{v}{Q_{\text{reactor}}}$$

Carga Orgánica

$$k = Q \times S_o$$

Carga Orgánica Volumétrica

$$COV = \frac{Q \times S_o}{V}$$

Tiempo Medio De Retención Celular

$$\theta_c = \frac{VX}{(Q_w X_r) + (Q_e X_e)}$$

Concentración En El Efluente

$$S = \frac{K_s (1 + K_d \theta_c)}{\theta_c (Y \times K - K_d) - 1}$$

Relación Alimento/Microorganismos

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_o}{V X} = \frac{S_o}{\theta X}$$

Q, Q_w, Q_e = caudal de alimentación, de purga y de agua clarificada

X, X_r, X_e = Solidos Suspendidos Volátiles (microorganismos) en el reactor, en la recirculación y en el agua clarificada

V = volumen de reactor

FOSFORO PRESENTE EN LAS MUESTRAS

$$Fosforo = \frac{Fosforo_{total} \times 30}{1000} \times 24,4$$

Anexo 5. Cálculo de Carga contaminante.

$$Carga = Caudal * Concentración de materia organica.$$

$$Cc = Q \times C \times 0.0036 \times t$$

Temporada De Lluvia											
Hora	Día Hábil						Día No Hábil				
	Caudal l/s	Concentración DBO5 mg/L	Larga Kg/Día	Concentración DQO Kg/Día	Larga DQO Kg/Día	Caudal l/s	Concentración DBO5 mg/L	Larga Kg/Día	Concentración DQO mg/L	Larga DQO Kg/Día	Carga DQO Kg/Día
000	519,426	61,56	2762,56	181,15	8129668,75	494,474	88,35	3488,60	259,98	11107,13	
100	494,474	58,60	2903,52	172,45	7367368,67	534,974	78,57	4083,47	354,81	16389,75	
200	475,76	56,38	2317,61	165,92	6820566,30	475,76	78,57	3229,54	342,09	14061,81	
300	440,474	52,20	1986,57	153,61	5846897,28	475,76	78,57	3229,54	231,21	9303,89	
400	440,474	127,20	4840,98	153,61	5846897,28	494,474	92,47	3488,60	354,81	15158,21	
500	584,878	168,91	8535,40	397,65	20094407,29	559,926	85,78	4473,27	342,09	16549,46	
600	559,926	161,70	7822,66	380,68	18416449,13	519,406	105,84	3849,56	422,11	18943,54	
700	519,426	150,00	6731,94	353,15	15948639,91	640,926	117,85	5861,11	470,00	26026,55	
800	519,426	150,00	6731,94	353,15	15948639,91	713,64	127,12	7266,45	506,97	31259,10	
900	665,878	192,30	11063,24	452,72	26945575,74	769,782	133,46	8454,73	532,23	35398,42	
1000	544,378	157,21	7394,25	370,11	17407875,04	808,14	121,45	9318,31	484,34	33818,56	
1100	563,33	164,42	8087,63	387,07	19940255,28	735,426	124,54	7716,89	496,67	31558,80	
1200	584,878	168,91	8535,40	397,65	20094407,29	754,14	133,81	8114,62	533,64	34771,04	
1300	559,926	161,70	7822,66	380,68	18416449,13	810,282	226,67	15869,03	533,64	37359,57	
1400	544,378	157,21	7394,25	370,11	17407875,04	738,592	217,95	13185,21	562,91	35921,50	
1500	584,878	168,91	8535,40	397,65	20094407,29	779,092	179,30	14670,86	480,67	32355,62	
1600	559,926	161,70	7822,66	380,68	18416449,13	640,926	160,99	9928,73	393,40	21784,88	
1700	519,426	150,00	6731,94	353,15	15848639,91	575,474	167,97	8004,41	410,46	20408,29	
1800	519,426	150,00	6731,94	353,15	15848639,91	600,426	167,97	8713,59	410,46	21293,18	
1900	494,474	58,60	2903,52	336,18	14362549,91	600,426	184,53	8713,59	450,94	23383,11	
2000	584,878	111,30	5624,37	222,48	11242485,54	659,64	153,23	8733,21	450,94	25700,14	
2100	559,926	106,55	5154,72	212,98	10303695,95	559,926	130,07	6292,47	382,77	18517,52	
2200	519,426	98,84	4435,99	197,58	8867949,55	559,926	124,27	6292,47	365,71	17692,32	
230000	584,878	111,30	5624,37	222,48	11242485,54	534,974	145,54	5744,14	428,30	19796,60	

Anexo 6. Características de la PTAR existente Guamal-Meta.



Ilustración 2 Vista general de la PTAR Guamal-Meta. Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 3 reactores UASB; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 4 Desbaste y Desarenador; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 5 Barredor De Lodos; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 6 Pozo de Bombeo de Lodos; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 7 Canal De Contacto De Cloro; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)



Ilustración 8 Lecho de Secado De Lodos; Tomada por Empresas de servicios públicos del Meta (EDESA S.A E.S.P., 2016)

Anexo 7. Análisis físico-químicos realizados por el laboratorio TecnoAmbiental.

 **TECNO Ambiental S.A.S.**
Asesoría y Laboratorio

 **INSTITUTO NACIONAL DE SALUD**

 **IDEAM**

RESULTADO DE ANALISIS

Página 2 de 2 T.A. 32140

MUESTRA No. 1 **Plan de monitoreo: 148**

Solicitante: EDESA S.A. E.S.P. **Dirección:** Guaimal

Contacto: Mayibe Jaramillo **Teléfono:** 3202187722

Clase de muestra: Agua Residual Doméstica **Tipo de muestra:** Compuesta

Fecha de toma: 2018/04/17 **Hora de Toma:** 07:00 - 18:00

Departamento: Meta **Municipio:** Guaimal

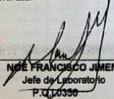
Vereda/Barrio: San Miguel **Fuente:** A.R.D.

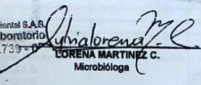
Punto: Vertimiento
W:073°45'19.8" W
N:03°51'30.8" N **Lugar de muestreo:** Predio la Playita a Orillas Río Guaimal

Fecha Recepción: 2018/04/19 **Fecha de emisión del reporte:** 2018/05/08

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G	42
D.Q.O.	mg O ₂ /L	SM 5220 C	157
FOSFORO TOTAL**	mg P/L	SM 4500 P B, C	< 3.53
GRASAS Y ACEITES	mg/L	NTC 3562 C-2011	22.8
NITRATOS	mg N-NO ₃ /L	Salicilato de Sodio Rodar-J	0.8
NITRITOS	mg N-NO ₂ /L	SM 4500 NO ₂ B	< 0.02
NITROGENO AMONICAL	mg N-NH ₄ /L	SM 4500 NH ₄ B C	4.1
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	mg N/L	SM 4500 Norg C, 4500 N-H B, C	8
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	SM 2540 F	4.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	72.8
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes fecales	NPM/100 mL	SM 9223 B	2418000
Coliformes totales	NMP/100ml	SM 9223 B	2418000

* Parámetro medido en situ. ** Reporte Laboratorio Externo.

 **NELY FRANCISCO JIMENEZ**
Jefe de Laboratorio
P.O. 10336

 **LORENA MARTÍNEZ C.**
Microbióloga

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo
Muestreo realizado por TECNOAMBIENTAL S.A.S.
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAMBIENTAL SAS
YF0055REV/0

CONTINUA

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618
E-mail: tecnoambiental@prodigy.net

 **TECNO Ambiental S.a.s.**
Asesoría y Laboratorio

 **INSTITUTO NACIONAL DE SALUD**

 **IDEAM**

Página 1 de 1 **RESULTADO DE ANALISIS** T.A. 32162

MUESTRA No. 1 **Plan de monitoreo:** N.A.

Solicitante: EDESA S.A. E.S.P. **Dirección:** No Reporta

Contacto: Mayba Jaramillo **Teléfonos:** No Reporta

Clase de muestra: Agua Residual Doméstica **Tipo de muestra:** Compuesta

Fecha de toma: 2018/04/21 **Hora de Toma:** 10:00

Departamento: Meta **Municipio:** Guaimal

Vereda/Barrio: San Miguel **Fuente:** Agua Residual Doméstica

Punto: Vertimiento
W:073°45'31.60"
N:03°51'48.80"

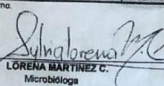
Lugar de muestreo: Finca la Playta

Fecha Recepción: 2018/04/23 **Fecha de emisión del reporte:** 2018/05/11

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
D.B.O. ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G	66
D.Q.D.	mg O ₂ /L	SM 5220 C	195
FOSFORO TOTAL**	mg P/L	SM 4500 P B C	< 3.53
GRASAS Y ACEITES	mg/L	NTC 3562 C-2011	26.1
NITRATOS	mg N-NO ₃ /L	Salicilato de Sodio Redox	0.5
NITRITOS	mg N-NO ₂ /L	SM 4500 NO ₂ B	< 0.02
NITROGENO AMONICAL	mg N-NH ₄ /L	SM 4500 NH ₄ B C	3.3
NITROGENO TOTAL KJELDAL	mg N/L	SM 4500 Norg C 4500 NHD B C	13
pH*	UND	SM 4500 H ⁺ B	6.63
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	SM 2540 F	4.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	58.3
TEMPERATURA*	°C	SM 2550 B	23.4
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes fecales	NPM/100 mL	SM 9223 B	2419600
Coliformes totales	NMP/100mL	SM 9223 B	2419600

* Parámetro medido en el Laboratorio. ** Reporta Laboratorio Externo.

 **NERE FRANCISCO JIMENEZ**
Jefe de Laboratorio
P.01.0356

 **LORENA MARTINEZ C.**
Microbióloga

COPIA CONTROLADA

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo.
Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe en la autorización de TECNO Ambiental SAS.

FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 01 Barrio El Embario - Villavicencio - Telefax: 664 1236 / 664 0618
E-mail: technoambiental_sas@yahoo.com