

**DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA EN LOS  
COMPONENTES DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE  
BUENAVISTA BOYACÁ**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FABIÁN GERARDO ESPITIA ANTONIO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA EN LOS  
COMPONENTES DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE  
BUENAVISTA BOYACÁ**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FABIÁN GERARDO ESPITIA ANTONIO**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero Civil**

**Director del Proyecto  
Ing. Diego Alejandro Pulgarín Montoya**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2017**



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director de tesis

Bogotá, D.C., Diciembre de 2017

Dedico este proyecto y mi carrera universitaria primeramente a Dios por acompañarme en cada paso de mi vida, por brindarme la sabiduría y salud para cada día salir a luchar por mis sueños.

A mis padres Gerardo Espitia y Carmenza Antonio por su apoyo y amor incondicional que me han brindado toda su vida, por sus oraciones y por el gran esfuerzo y sacrificio que hacen para que sus hijos tengan el privilegio de ir a la universidad y ser profesionales.

A mi novia Catherine González por el gran apoyo que me ha brindado durante los últimos 5 años, por ser mi compañía y por el amor y apoyo brindado en los momentos difíciles de mi vida.

A mis abuelitos que me cuidan desde el cielo, y mi abuelita Luisa por sus palabras de aliento que me animan a seguir adelante.

## CONTENIDO

1	GENERALIDADES.....	16
1.1	INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE BUENAVISTA.....	16
1.1.1	Localización regional.....	16
1.1.2	Distribución del territorio.....	16
1.1.3	Clima.....	17
1.1.4	Componente social.....	18
1.1.5	Recurso hídrico.....	18
1.1.6	Calidad.....	20
1.1.7	Agua Potable Y Saneamiento Básico.....	20
1.2	ANTECEDENTES.....	21
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.3.1	Descripción del problema.....	22
1.3.2	Formulación del Problema.....	22
1.4	OBJETIVOS.....	23
1.4.1	Objetivo general.....	23
1.4.2	Objetivos específicos.....	23
1.5	JUSTIFICACIÓN.....	24
1.6	DELIMITACIÓN.....	25
1.6.1	Espacio.....	25
1.6.2	Tiempo.....	25
1.6.3	Contenido.....	25
1.6.4	Alcance.....	25
1.7	MARCO REFERENCIAL.....	26
1.7.1	Marco teórico.....	26
1.7.2	Marco conceptual.....	28
1.7.3	Marco legal.....	29
1.8	METODOLOGÍA.....	30
1.8.1	Tipo de Estudio.....	30
1.8.2	Fuentes de información.....	30
2	DISEÑO METODOLÓGICO.....	31

2.1	Revisión bibliográfica y recolección de la información.....	31
2.2	Reconocimiento y dimensionamiento de las estructuras .....	32
2.2.1	Descripción de la ptar (planta de tratamiento de aguas residuales) quebrada las Brujas) .....	32
2.2.2	Descripción de las unidades PTAR “quebrada las brujas” .....	34
2.3	Diagnóstico .....	37
2.3.1	Caracterización de vertimiento.....	37
2.3.2	Caudal.....	39
2.3.3	Cámara de llegada .....	40
2.3.4	Sedimentador Primario.....	40
2.3.5	Reactor de lodos activados .....	41
2.3.6	Sistema de aireación.....	42
2.3.7	Sedimentador secundario .....	42
2.4	Cálculos de rediseño .....	43
2.4.1	Canal de entrada.....	43
2.4.2	Rejas de cribado .....	43
2.4.3	Desarenador .....	44
2.4.4	Sedimentador primario .....	45
2.4.5	Tanque de aireación .....	45
2.4.6	Sedimentador secundario .....	47
2.5	Resumen del rediseño de las estructuras.....	49
2.5.1	Manual de operación y mantenimiento .....	50
	CONCLUSIONES .....	51
	RECOMENDACIONES.....	52
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	ANEXOS .....	55

## Lista de tablas

Tabla 1. Distribución climática. ....	18
Tabla 2. Clasificación de microcuencas del municipio .....	19
Tabla 3. Documentos base utilizados como referencia para inicio de actividades. ....	31
Tabla 4. Descripción y dimensionamiento de la Cámara de Llegada.....	34
Tabla 5. Descripción y dimensionamiento de la trampa de grasas. ....	34
Tabla 6. Descripción y dimensionamiento de la Canaleta Parshall.....	35
Tabla 7. Descripción y dimensionamiento del sedimentador primario .....	35
Tabla 8. Descripción y dimensionamiento del reactor.....	36
Tabla 9. Descripción y dimensionamiento del sedimentador secundario.....	36
Tabla 10. Descripción y dimensionamiento lechos de secado.....	37
Tabla 11. Valores límite establecidos para vertimientos de agua .....	37
Tabla 12. Caracterización de afluente y efluente PTAR quebrada Las Brujas .....	38
Tabla 13. Población del municipio de Buenavista Boyacá según registro y proyecciones DANE .....	39
Tabla 14. Proyecciones de población por los diferentes métodos .....	39
Tabla 15. Asignación del nivel de complejidad .....	39
Tabla 16. Dotación neta según el nivel de complejidad .....	40
Tabla 17. Demanda de caudal proyectado 2037 .....	40
Tabla 18. Verificación parámetros de diseño sedimentador primario. ....	41
Tabla 19. Verificación parámetros de diseño reactor de lodos activados .....	41
Tabla 20. Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios .....	42
Tabla 21. Verificación de los parámetros de diseño del sedimentador secundario. ....	42
Tabla 22. Características del canal de entrada diseñado .....	43
Tabla 23. Porcentaje de espacios libres entre barras .....	43
Tabla 24. Dimensionamiento del canal de cribado .....	44
Tabla 25. Perdidas de carga en la rejilla .....	44
Tabla 26. Características desarenador diseñado.....	44
Tabla 27. Características sedimentador primario rediseñado.....	45
Tabla 28. Cargas de diseño tanque de aireación.....	45
Tabla 29. Dimensionamiento del tanque de aireación .....	46
Tabla 30. Relación alimento microorganismos .....	46
Tabla 31. Datos del tanque de aireación diseñado .....	46
Tabla 32. Diseño del sistema de aireación .....	47
Tabla 33. Características sedimentador secundario rediseñado .....	48
Tabla 34. Cálculo del porcentaje de recirculación de lodos y eficiencia de remoción .....	48
Tabla 35. Manual de operación y mantenimiento PTAR Buenavista Boyacá. ....	50

## Lista de anexos

Anexo 1. evaluación del diseño del actual sistema: memorias de cálculo .....	55
Anexo 2. rediseño de las estructuras con proyección al 2037: memorias de cálculo .....	61
Anexo 3. análisis de laboratorio realizados en el laboratorio de la universidad católica de colombia .....	70
Anexo 4. análisis de laboratorio realizados en laboratorio particular .....	72
Anexo 5. análisis de laboratorio realizado por la corporación autónoma regional (CAR).....	73
Anexo 6. planos propuesta de diseño ptar quebrada las brujas buenavista boyaca .....	74

## Lista de diagramas

Diagrama 1. Ubicación del municipio.....	17
Diagrama 2. Ubicación general de la cuenca .....	19
Diagrama 3. Procesos de agua residual .....	27
Diagrama 4. Proceso realizado en la PTAR “Quebrada las Brujas”.....	33

## **Lista de fotografías**

Fotografía 1. PTAR Buenavista Boyacá. ....	32
--	----

## GLOSARIO

**AFLUENTE:** agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento. (RAS 2000)

**AGUAS CRUDAS:** aguas residuales que no han sido tratadas. (RAS 2000)

**AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES:** agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos. (RAS 2000)

**AGUAS RESIDUALES:** agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria. (RAS 2000)

**AGUAS SERVIDAS:** aguas de desecho proveniente de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales. (RAS 2000)

**AIREACIÓN:** proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales o artificiales. (RAS 2000)

**BIODEGRADACIÓN:** degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales. (RAS 2000)

**CARGA DE DISEÑO:** producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. (RAS 2000)

**CARGA ORGÁNICA:** producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio. (RAS 2000)

**CARGA SUPERFICIAL:** caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento. (RAS 2000)

**CONCENTRACIÓN:** se denomina concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que contiene.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. (ROMERO 2004)

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (RAS 2000)

**DESARENADOR:** cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena). (RAS 2000)

**DISPOSICIÓN FINAL:** disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados. (RAS 2000)

**EDAD DE LODO:** tiempo medio de residencia celular en el tanque de aireación. (RAS 2000)

**LECHOS DE SECADO:** dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido. (RAS 2000)

**LODOS ACTIVADOS:** procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado. (RAS 2000)

**OXÍGENO DISUELTO:** concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L. (RAS 2000)

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR):** conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales. (RAS 2000)

**PUNTO DE DESCARGA:** es el sitio seleccionado para la toma de muestras en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

**SÓLIDOS SEDIMENTABLES:** materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora. (RAS 2000)

**TANQUE DE AIREACIÓN:** Cámara usada para inyectar aire dentro del agua. (RAS 2000)

**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO:** tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO. (RAS 2000)

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos. (RAS 2000)

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** Proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor, está dirigido a la reducción final de la DBO5, metales pesados y contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Buenavista Boyacá tiene deficiencias en el manejo de vertimientos de aguas residuales, y pese a contar con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ésta continuamente está fuera de funcionamiento y no se realiza el tratamiento de las aguas ni los vertimientos adecuadamente, esto es un problema muy grave en el municipio debido a que aguas abajo de las fuentes superficiales donde se hacen los vertimientos de las aguas residuales, la población rural de las veredas del municipio toman las aguas de estas fuentes para el riego de sus cultivos y en algunos casos para el consumo humano, estos problemas se evidenciaron al realizar una visita de campo a la planta y aguas abajo de la quebrada Las Brujas donde se hacen los vertimientos, además estos problemas están contenidos en el avance del “Plan maestro de alcantarillado” contratado por la EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE BOYACÁ E.S.P.

Por lo anterior el presente trabajo de grado está enfocado en realizar un diagnóstico de la operación y plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la PTAR, en las cuales se tendrá en cuenta aspectos como el comportamiento hidráulico, calidad del agua y operación y mantenimiento.

El presente estudio se basa en información primaria la cual se tomará realizando visitas a la PTAR y haciendo levantamiento de las estructuras que la componen, así como en información secundaria suministrada por la secretaria de planeación del municipio y la empresa de servicios públicos de Buenavista Buenservicio.

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE BUENAVISTA

### 1.1.1 Localización regional

El Municipio de Buenavista pertenece a la provincia de “occidente” del Departamento de Boyacá, junto con los municipios de Briceño, Coper, La Victoria, Maripí, Muzo, Otanche, Pauna, Quípama, San Pablo de Borbur, Caldas, Chiquinquirá, Saboya y San Miguel de Sema.

El relieve del municipio corresponde a la Cordillera Oriental de los Andes, con alturas que sobrepasan los 3.200 m.s.n.m.

Además de numerosas corrientes menores y cascadas bañan el territorio el Río Herradura que nace en nuestro municipio y desemboca en el río Minero y éste a su vez al río Cararé, para finalmente desembocar en el río Magdalena.

Pertenece a la Cuenca del río Minero que se desplaza en dirección sur – norte y desciende desde una altitud aproximada de 3.000 m para desembocar en el río Cararé y luego en el río Magdalena a la altura del municipio de Puerto Parra en Santander, cuenca que cuenta con una amplia oferta ambiental principalmente en cuanto al recurso hídrico.

Es de anotar que Buenavista limita territorialmente al norte con los municipios de Caldas y Maripí, al occidente con Coper, al oriente con Caldas y Simijaca (Cundinamarca) y al sur con Coper y Carmen de Carupa (Cundinamarca).

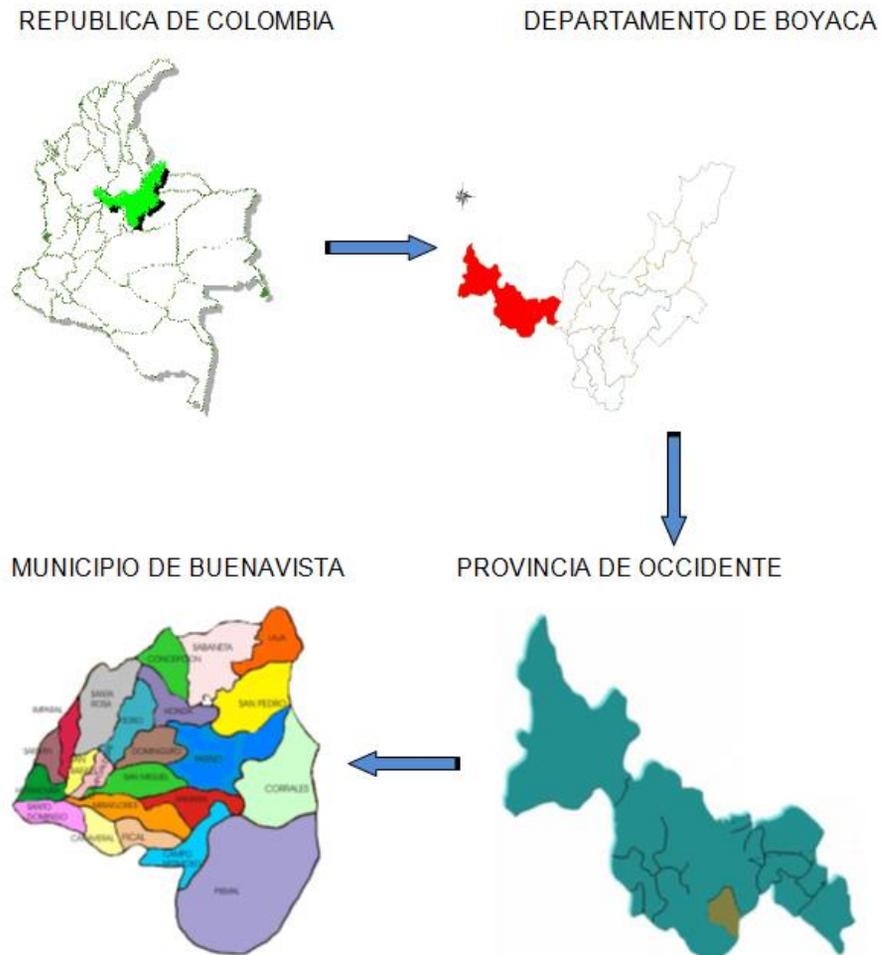
La cabecera municipal se localiza en las coordenadas planas X: 1.015.133, Y: 1.101.335 y Z: 1994.65 msnm con temperatura que oscila entre 6°C y 21°C y una precipitación de 1.776 mm anuales. Se encuentra a una distancia de 115 Km. desde la ciudad de Tunja; sus principales vías de acceso son a través de los municipios de Simijaca (Cundinamarca), Caldas y Chiquinquirá.

### 1.1.2 Distribución del territorio

Está conformada por 23 veredas y el casco urbano con un Área aproximada de 125 km<sup>2</sup> de los cuales 4 km<sup>2</sup> son de clima cálido, 35 km<sup>2</sup> de clima templado, 72 km<sup>2</sup> de clima frío y el restante 14 de páramo.

A continuación, se muestra la ubicación del municipio de Buenavista.

Diagrama 1. Ubicación del municipio



Fuente: Autor

### 1.1.3 Clima

El territorio del municipio de Buenavista presenta una topografía quebrada ubicada en las estribaciones de un brazo de la cordillera Oriental. Como consecuencia de la topografía el municipio goza de variedad de climas que en forma general se pueden clasificar así:

- **Distribución Climática**

Tabla 1. Distribución climática.

<b>TEMPERATURA</b>	<b>EXTENSIÓN (km<sup>2</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE</b>
CÁLIDO	4	3 %
TEMPLADO	35	28 %
FRIO	72	58 %
PARAMO	14	11 %

Fuente: Secretaría de planeación Buenavista Boyacá.

El clima es muy variado debido principalmente a la variedad de altitud y de precipitación, las condiciones atmosféricas húmedas de algunos sectores son causadas por la presencia casi permanente de nubes; al contrario la acción de vientos locales hace que en algunas zonas las condiciones sean más secas.

La temperatura y la humedad del aire varían en la zona y esto causa diferencias notables en la fisonomía vegetal reflejadas en las zonas de vida y asociaciones.

#### **1.1.4 Componente social**

- **Aspectos Demográficos**

En los últimos años la población ha disminuido notoriamente a causa de la emigración de la población hacia otras comunidades es la poca oferta de trabajo y sostenibilidad económica que posee el municipio.

Actualmente para el área rural se tiene una población de 5096 y para la zona urbana una población de 793 para un total en municipio de 5889 según datos censo 2005. (Dane 2005)

#### **1.1.5 Recurso hídrico**

La principal cuenca hidrográfica la constituye el río Minero, que se desplaza en dirección sur – norte y desciende desde una altitud aproximada de 3.000 m para desembocar en el río Cararé, el cual a su vez aporta al río Magdalena a la altura del municipio de Puerto Parra en el departamento de Santander.

Tabla 2. Clasificación de microcuencas del municipio

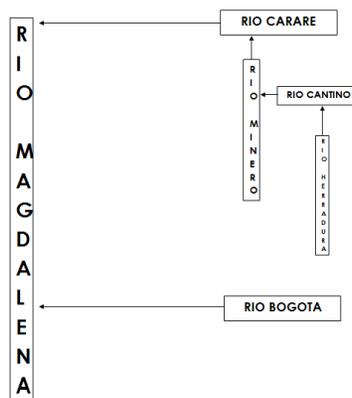
MICROCUENCA	ÁREA (Ha)	QUEBRADAS PRINCIPALES
Quebrada Negra - Campoalegre	1800	Negra, Aguablanca, La Inea, Hoyo Hondo
Quebrada El Retiro	5292	Hoyagrande, El Zaque, La Capilla, Páramo, El Mute
Quebrada Miraflores	2690	Samaria, El Cerezo, La Mina, Las Moyas
Quebrada La Mina	1362	Chuspal, Socotá, El Chorrerón
Río Herradura	1554	La Sorque, San Antonio, Murcia, Monzón

Fuente: Secretaria de planeación Buenavista, 2017.

El municipio de Buenavista se ubica en la cabecera o parte alta de la cuenca, por tanto su función reguladora y captadora es vital para los municipios de la parte media y baja de la cuenca, el pequeño páramo y subpáramo, ubicado en las veredas Pismal y Corrales que comparten con el municipio de Simijaca, es uno de los aportes más importantes del municipio a la estructura ecológica principal de la región y de la cuenca.

Este pequeño páramo aporta en dos direcciones, del lado de Simijaca las aguas circulan por la cuenca del río Suárez, mientras las aguas que conducen las corrientes del lado del municipio de Buenavista pertenecen a la cuenca del río Minero.

Diagrama 2. Ubicación general de la cuenca



Fuente. El autor

### **1.1.6 Calidad**

El municipio cuenta con 5 microcuencas con un sinnúmero de quebradas aljibes y nacimientos, que surten de agua las diferentes veredas. Sus nacimientos se encuentran regularmente protegidos gracias a la cobertura vegetal natural, lo mismo puede afirmarse a lo largo de sus lechos.

En sus partes bajas donde atraviesan las regiones más pobladas se presentan problemas de contaminación orgánica, ya que en ellas vierten las aguas negras de la gran mayoría de las viviendas, al no existir alcantarillado, ni letrinas.

Otro fenómeno que se está presentando desde hace aproximadamente 10 años y que contribuye al deterioro del volumen y calidad de las aguas es la altísima tasa de deforestación en busca de postas de madera para ser utilizados en la construcción y expansión agrícola.

Los vertimientos de alcantarillado y basuras son los principales focos de contaminación físico química y bacteriológicas de las corrientes de agua, el impacto de la calidad del agua de las quebradas receptoras a nivel urbano es grave limitando toda posibilidad de uso en una amplia zona de aguas abajo del casco urbano, de acuerdo a la reglamentación de uso del recurso.

La contaminación por excretas de la población rural es más difusa. Si bien los niveles de concentración no son tan altos, sí causan graves problemas al distribuir la contaminación bacteriológica en zonas muy amplias.

Dentro de la microcuenca de la quebrada El Retiro, se encuentra la quebrada La Capilla y el aljibe Aguablanca fuentes de donde se obtiene el agua para el acueducto municipal, presenta problemas de cobertura vegetal, uso inapropiado de la ganadería y erosión de lecho.

### **1.1.7 Agua Potable Y Saneamiento Básico**

El sector de saneamiento básico se configura a través de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo urbano, los cuales se agrupan por la estrecha relación que tienen con la salud de la comunidad y las condiciones del ambiente que los rodea. La importancia que tienen estos servicios, los ha llevado a formar parte del conjunto de variables para medir y calificar los niveles de vida de la comunidad.

En el municipio de Buenavista existe deficiencia en la prestación de los servicios de abastecimiento de agua y sistemas de disposición de excretas a nivel urbano y rural, lo que ocasiona la proliferación de enfermedades de origen hídrico y de otros transmisibles, que afectan la salud de la población.

## 1.2 ANTECEDENTES

A lo largo del tiempo el municipio de Buenavista ha contado con un deficiente sistema de acueducto, alcantarillado y manejo de aguas servidas, lo que se refleja en la salud de las personas. Sin embargo, en las últimas administraciones municipales de Buenavista se ha estipulado en los planes de desarrollo, la mejora en los planes de saneamiento básico ya que la comunidad cuenta con un bajo porcentaje en la cobertura de alcantarillado.

A causa de lo anterior se presentan muchos problemas en la salud de las personas, en especial la de niños, niñas, adolescentes y ancianos, además hace que las especies animales y vegetales presentes a lo largo del cauce en el cual se hace el vertimiento, tiendan a desaparecer.

En el acuerdo 2016, sector 3: “Agua potable y saneamiento básico”, del plan de desarrollo están estipuladas las oportunidades de desarrollo del sector agua potable y saneamiento, que tiene como objetivo contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida, salubridad y el desarrollo económico de la población. (Plan de desarrollo municipal Respeto, Desarrollo, oportunidades, 2016)

Desde la antigüedad ha sido una necesidad deshacerse de los residuos orgánicos producidos por los seres humanos, y a lo largo de la historia se ha venido avanzando en la implementación de métodos cada vez más eficientes y amigables con el ambiente. Lo que ha producido que las entidades gubernamentales se preocupen e inviertan en planes de manejo de vertimientos en los municipios del país, y el municipio de Buenavista es un ejemplo de esto.

Además, con el apoyo y la financiación de la “empresa Departamental de servicios públicos de Boyacá” se ha venido trabajando en el diseño del plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio.

Todos los problemas mencionados llevan al autor de esta investigación a realizar el diagnóstico y la realización de las alternativas de funcionamiento de esta PTAR.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1 Descripción del problema.**

El municipio de Buenavista cuenta con aproximadamente 5764 habitantes de los cuales 842 se ubican en el casco urbano según el DANE, los cuales cuentan con un deficiente sistema de alcantarillado y manejo de aguas servidas, lo cual genera un grave problema ambiental como de salud pública para los habitantes del municipio, en especial a los de las veredas ubicadas aguas abajo de la quebrada las Brujas que es donde se hacen los vertimientos de aguas servidas, los cuales utilizan las aguas de esta fuente superficial para riego de sus cultivos y en muchos casos para consumo humano.

A pocos metros abajo del municipio se construyó una planta de aguas residuales (PTAR) de lodos activados, hace aproximadamente 12 años según información suministrada por planeación municipal, pero frecuentemente está fuera de servicio y presenta problemas de operación.

#### **1.3.2 Formulación del Problema.**

¿La PTAR del municipio de Buenavista Boyacá cumple con la normatividad colombiana en relación a las normas de calidad del agua en su vertimiento?

En Colombia existe una normativa que rige la calidad con la que las entidades que hacen uso del agua deben realizar los vertimientos a las fuentes de agua superficiales o subterráneas, pero un problema que se evidencia en el país es que debido a la falta de interés por parte de las autoridades y al poco control por parte de las corporaciones ambientales se realizan vertimientos de agua contaminada indiscriminadamente sin que esto represente sanción alguna,, ahora el problema que compete al presente proyecto es saber si la PTAR del municipio de Buenavista cumple con esta normatividad, por lo cual se realizara un diagnóstico que nos permita determinarlo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Plantear mejoras en los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Buenavista Boyacá.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico que permita identificar cual es el actual funcionamiento de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Buenavista Boyacá.
- Identificar si el vertimiento cumple con la normatividad colombiana en relación a las normas de calidad del agua.
- Realizar los diseños de las estructuras que no cumplen con los parámetros evaluados en la fase de diagnóstico.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta contaminación en la que se encuentra la fuente de agua superficial en la cual se hacen los vertimientos de las aguas servidas por la población urbana en el municipio de Buenavista, y como consecuencia de esto problemas en la salud y en la calidad de vida de los habitantes a lo largo del lecho de la quebrada, se hace necesaria la intervención por parte de las autoridades o profesionales que contribuyan con soluciones que ayuden a solucionar o que sea más bajo el impacto que está generando la alta contaminación.

Por lo anterior es de gran interés contribuir en la solución de dichos problemas. El municipio cuenta con una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), la cual según visitas realizadas no está funcionando adecuadamente, ya sea por falta de recursos, capacitación de los operarios o simplemente por negligencia de la administración municipal.

Se pretende realizar un diagnóstico del funcionamiento de la PTAR el cual permita determinar cuál es el motivo por el cual la planta no está realizando el adecuado tratamiento del agua y como consecuencia realizar vertimientos de agua contaminada que está generando problemas en las persona, y de este diagnóstico presentar mejoras que permitan sacar el mayor provecho de la estructura que ya existe.

Además, con el apoyo y la financiación de la “empresa Departamental de servicios públicos de Boyacá” se ha venido trabajando en el diseño del plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio.

Todos los problemas mencionados llevan al autor de esta investigación a realizar el diagnóstico y la realización de las alternativas de funcionamiento de esta PTAR.

## **1.6 DELIMITACIÓN**

### **1.6.1 Espacio**

Para el desarrollo de este trabajo se realizarán varias visitas a la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Buenavista, los análisis fisicoquímicos del agua se realizó en las instalaciones del laboratorio de la universidad católica de Colombia, y fue necesario recurrir a un laboratorio particular para el análisis de algunos parámetros adicionales.

### **1.6.2 Tiempo**

El tiempo con el que se cuenta para realizar el trabajo de investigación es el periodo 2017-2, el cual está estipulado por la facultad para realizar el diagnóstico, evaluación y planteamiento de alternativas de mejora para la planta de tratamiento.

### **1.6.3 Contenido**

Para el cumplimiento de los objetivos establecidos para el “DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE BUENAVISTA BOYACÁ”, se realizará una evaluación de las estructuras que componen la planta, determinando el cumplimiento del RAS 2000.

### **1.6.4 Alcance**

El presente estudio pretende realizar un diagnóstico del actual sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada a pocos metros del casco urbano del municipio de Buenavista, y de estos resultados se propondrán las posibles mejoras que van a permitir que la PTAR existente funcione de la mejor manera posible, además se pretende que luego de la realización de esta investigación, las futuras administraciones del municipio cuenten con un estudio base para mejorar el funcionamiento de la planta.

## 1.7 MARCO REFERENCIAL

### 1.7.1 Marco teórico

**Generación de aguas residuales:** La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora (Romero, 2004)

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales o estándar. Además, 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, 2004)

**Tratamiento primario de aguas residuales:** El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogenización. (Ramalho, 2003)

**Tratamiento secundario de aguas residuales:** El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. Uno de esos procesos es la degradación por lodos activados. (Ramalho, 2003)

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas.

La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua. (Romero, 2004)

**Demanda química de oxígeno (DQO):** La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidable.

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industrial o municipal tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo tres horas. (Romero, 2004)

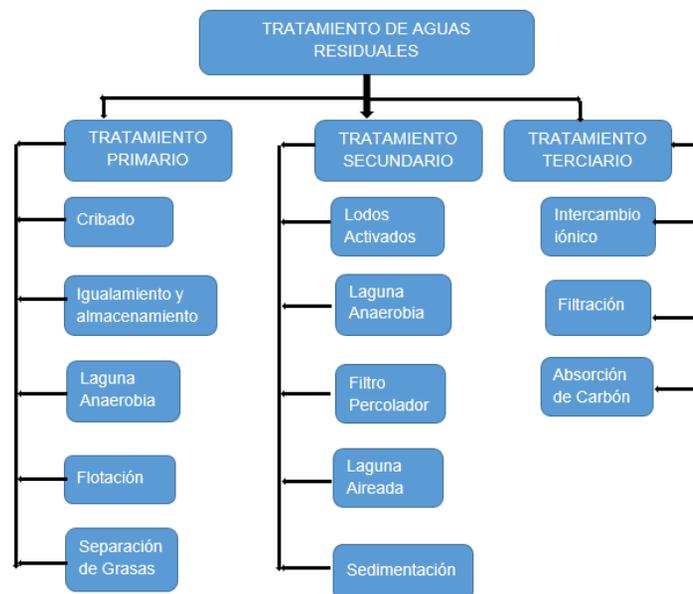
**Lodos activados:** El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de una forma empírica. Solo a comienzos de los años sesenta se desarrolló una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activados. (Ramalho, 2003)

Los procesos de lodos activados tienen en común el contacto de aguas residuales con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación. El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual se debe su nombre de activado. (Romero, 2004)

La determinación de un sistema de tratamiento depende de muchos factores tales como, el tipo de agua residual que se va a tratar, el efluente en el cual vamos a realizar la descarga, el espacio con el que se cuenta, los recursos económicos y la facilidad de realizar futuras mejoras para satisfacer nuevas necesidades.

A continuación, se muestra un diagrama con los diferentes procesos que se pueden realizar en cada etapa para el tratamiento del agua residual.

Diagrama 3. Procesos de agua residual



Fuente: adaptado por el autor de Romero, 2017

### 1.7.2 Marco conceptual

**Aguas servidas:** Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000).

**Nitrógeno:** Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés de aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Todas son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos. (Romero, 2000).

**Oxígeno disuelto:** Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000).

**PTAR:** (Planta de tratamiento de agua residual) Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000).

**Sólidos suspendidos (SS):** Pequeñas partículas de contaminantes sólidos insolubles que flotan en la superficie o están suspendidos en aguas residuales u otros líquidos. Resisten la remoción por medios convencionales. Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. (Aguamarket 2000).

**Tratamiento Biológico:** El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que escapan a la atmosfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fosforo del agua residual (Romero, 2004).

### 1.7.3 Marco legal

**Decreto 631 de 2015.** El decreto 631 de 2015 por el 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, 2015)

**Resolución 0330 de 2017.** Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS. (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

**Resolución 3463 de 2009.** Por la cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del Rio Minero, a lograr en el año 2020. (Corporación autónoma regional de Cundinamarca, 2009)

**Decreto 4728 de 2010. Artículo 28.** Fijación de la norma de vertimiento. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2010)

**Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015:** es una compilación de las normas expedidas por el Gobierno Nacional en cabeza del Presidente de la República, en ejercicio de las facultades. La pretensión de esta iniciativa es recoger en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes. (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

## **1.8 METODOLOGÍA**

### **1.8.1 Tipo de Estudio**

El presente proyecto es de fin investigativo, con el procesamiento de la información primaria recolectada en campo, se podrá determinar el actual estado de la planta de tratamiento y por medio de este dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Con el procesamiento de los datos y con los resultados de los análisis del agua residual que podrá verificar si cumple con la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y de esta manera proceder a plantear alternativas de mejora y si es el caso rediseñar el sistema.

### **1.8.2 Fuentes de información**

La principal fuente de información del proyecto es la toma de la información primaria directamente en la planta de tratamiento del municipio de Buenavista, así como los resultados de los análisis del agua residual realizados en el laboratorio de la universidad católica y en un laboratorio partícula.

## 2 DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1 Revisión bibliográfica y recolección de la información

Para la información secundaria la cual se esperaba encontrar en la alcaldía municipal, se presentaron muchas dificultades. Al realizar la solicitud en la secretaría de planeación, el director de planeación manifestó que no contaban con suficiente información de diseño, ni planos de la PTAR, solo se encontró un documento con la descripción del tratamiento que realizaba la planta y unos análisis de laboratorio realizados por la corporación autónoma regional, los cuales no son recientes. La misma solicitud se realizó en la empresa de servicios públicos Buenservicio y en la secretaría de fomento, contando con la misma suerte.

La recolección de la información permitió adquirir la fundamentación teórica y reconocer la normativa que rige el funcionamiento y la calidad de los vertimientos que se realizan en las fuentes de agua, normas como la resolución 631 de 2015.

En la siguiente tabla se listan algunos de los documentos bases utilizados como referencia para dar inicio a las actividades.

Tabla 3. Documentos base utilizados como referencia para inicio de actividades

<b>Documento</b>	<b>Descripción</b>
Catastro de Alcantarillado, Buenavista Boyacá	Documento informativo de las estructuras que componen el sistema de alcantarillado en el municipio de Buenavista, así como las características técnicas y funcionamiento de las mismas.
Informe de laboratorio de las muestras 3195-14 y 3196-14 del afluente y efluente PTAR Buenavista Boyacá	Del cual se obtienen los valores actuales de DBO, SST y demás parámetros necesarios para el desarrollo del trabajo. Laboratorio realizado por el laboratorio de la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR)

Fuente: El autor

## 2.2 Reconocimiento y dimensionamiento de las estructuras

### 2.2.1 Descripción de la ptar (planta de tratamiento de aguas residuales) quebrada las Brujas)

Fotografía 1. PTAR Buenavista Boyacá.



Fuente. El autor

Luego del vertimiento del alcantarillado público al colector de 24 pulgadas el agua pasa a una caja de inspección la cual consta de una rejilla y un vertedero de alivio de exceso, luego pasa a una tubería de 4 pulgadas que llega a la PTAR.

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Buenavista, corresponde a un sistema biológico de lodos activados, en el cual el agua cruda entra por un canal de aproximación a una rejilla donde se atrapa todo el material grueso, luego pasa por una trampa de grasas, donde se retienen grasas, aceites y otras sustancias menos densas que el agua, luego que el agua sale de la trampa de grasas pasa a una canaleta de aforo tipo Parshall que nos permite hallar el caudal que está tratando, inmediatamente el agua pasa por el sedimentador primario cuya función es separar por decantación materiales como arenas y algunos materiales de mayor densidad.

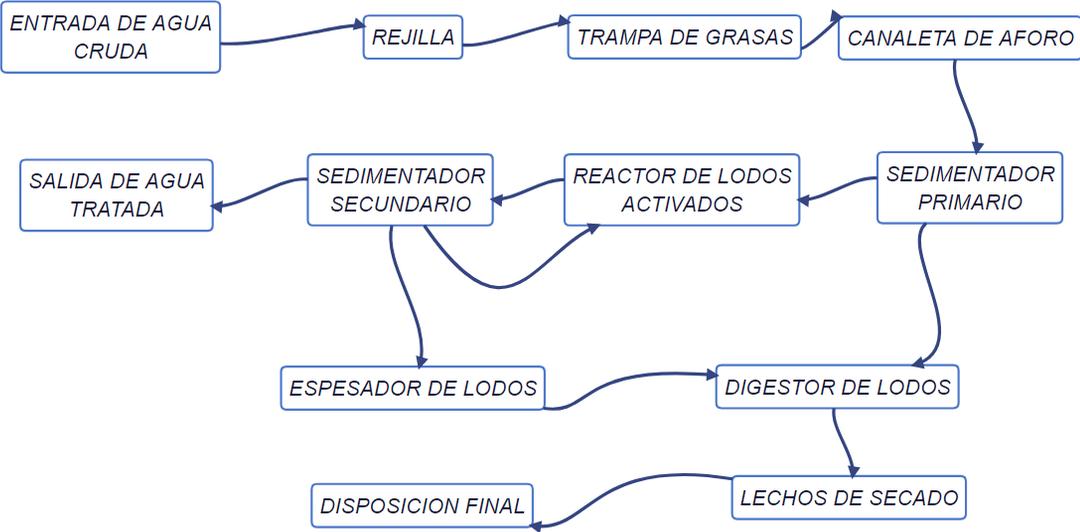
En la siguiente etapa el agua llega al reactor de lodos activados, que es un tanque provisto en el fondo con unos difusores de aire los cuales están alimentados por un aireador mecánico, el cual crea un ambiente perfecto para la generación de una

colonia de bacterias aerobias que se encargan de convertir la DBO en sustancias más estables. El agua sale del reactor a un sedimentador secundario.

Al buscar información respecto al diseño de esta PTAR no se contó con éxito, ni en la secretaria de planeación, empresa de servicios públicos ni en ninguna dependencia, pero según funcionarios del municipio esta fue construida en el año 2005 y cuenta con una capacidad de tratar 3.5 lps, la cual recibe las descargas de aguas residuales del 40% del municipio.

A continuación, se muestra esquemáticamente el proceso realizado.

Diagrama 4. Proceso realizado en la PTAR “Quebrada las Brujas”

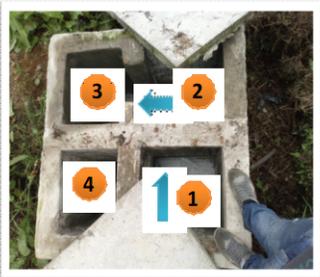


Fuente. Autor

## 2.2.2 Descripción de las unidades PTAR “quebrada las brujas”

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, está constituida por una serie de estructuras, las cuales se muestran a continuación.

Tabla 4. Descripción y dimensionamiento de la Cámara de Llegada

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
Cámara de inspección	La caja de inspección de llegada a la planta está localizada en la parte final del colector y sirve en primera instancia como rejilla primaria, regulador de caudal a la planta y vertedero de alivio de excesos, en esta caja se dispone de un vertedero de rebose que permite que solo el caudal de operación se vaya a planta y los caudales de exceso son llevados al lugar de vertimiento.
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<p><b>DIMENSIONES CÁMARA DE LLEGADA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancho 1.22 m</li> <li>• Largo 1.22 m</li> <li>• Ancho de muros 0.13 m</li> </ul> <p><b>DIÁMETROS DE TUBERÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubería de entrada 4"</li> <li>• Tubería de salida 6"</li> <li>• Tubería de rebose 6"</li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 5. Descripción y dimensionamiento de la trampa de grasas.

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
Trampa de grasas	La trampa de grasas tiene como función hacer la separación de las grasas, aceites y sustancias flotantes que deberán ser retiradas con la ayuda de un recipiente, para ser llevados a los lechos de secado o al sitio de disposición final.
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<p><b>DIMENSIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro 1.00 m</li> <li>• Altura 1.16 m</li> <li>• Volumen 0.91 m<sup>3</sup></li> </ul> <p><b>DIÁMETROS DE TUBERÍA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubería de entrada 4"</li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 6. Descripción y dimensionamiento de la Canaleta Parshall

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>Canaleta Parshall</b></p>	<p>Para cuantificar el caudal se dispone de una canaleta de aforo tipo Parshall, que nos permite conocer el caudal de operación solo con medir la altura de la lámina del agua antes de la garganta de la canaleta.</p>
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<p><b>DIMENSIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud 1,50 m</li> <li>• Ancho de la garganta 0.05 m</li> <li>• Ancho de la entrada a la transición 0,25 m</li> <li>• Profundidad 0.30 m</li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 7. Descripción y dimensionamiento del sedimentador primario

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>Sedimentador primario</b></p>	<p>Consiste en un tanque en forma circular con una tova inferior, en la que el agua entra por la parte inferior y sale por rebose por la parte superior hacia el reactor.</p>
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro 2.47 m</li> <li>• Altura 1.16 m</li> <li>• Volumen 5.56 m<sup>3</sup></li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 8. Descripción y dimensionamiento del reactor

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
<p align="center"><b>Reactor Aerobio de lodos activados</b></p>	<p>Es un tanque cilíndrico vertical, dotado en el fondo de difusores de aire que son alimentados por un equipo soplador, ubicado en la caseta de equipos. En el fondo del reactor están dispuestos varios difusores de aire de membrana, que transfieren finalmente el aire disuelto a la masa de agua dentro del reactor.</p>
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro 3.70 m</li> <li>• Altura 2.36 m</li> <li>• Volumen 25.37 m<sup>3</sup></li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 9. Descripción y dimensionamiento del sedimentador secundario

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
<p align="center"><b>Sedimentador secundario</b></p>	<p>Consiste en un tanque cilíndrico con tova en la parte inferior, en el que el agua proveniente del reactor es introducida por la parte inferior, pasa por el módulo de sedimentación y es evacuada por la parte por el vertedero periférico, que garantiza una uniformidad en el flujo.</p>
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro 2.47 m</li> <li>• Altura 1.16 m</li> <li>• Volumen 5.56 m<sup>3</sup></li> </ul>

Fuente. El autor

Tabla 10. Descripción y dimensionamiento lechos de secado

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
Lechos de secado	proveniente del sistema de tratamiento en donde se deshidrata hasta los niveles que permiten su manipulación para disposición y uso final. Los lechos de secado están conformados por tanques en los que en el fondo se instalan unas tuberías perforadas con una capa de gravas como soporte de un lecho de arena que actúa como filtro.
FOTO	DIMENSIONAMIENTO
	<p>DIMENSIONES CÁMARA DE LLEGADA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancho 0.9 m</li> <li>• Largo 2.0 m</li> <li>• Profundidad 1.00 m</li> <li>• Unidades 2</li> <li>• Volumen 3.6 m<sup>3</sup></li> </ul>

Fuente. El autor

## 2.3 Diagnóstico

Después de realizar el reconocimiento y el dimensionamiento de los componentes de la PTAR se procede a realizar la evaluación para verificar el cumplimiento con la resolución 631 de 2015 en cuanto a los vertimientos y la reglamentación RAS 2000 en cuanto a comportamiento hidráulico de las estructuras.

### 2.3.1 Caracterización de vertimiento

En la tabla 12 se muestran los valores límite establecidos por la resolución 631 de 2015, para los parámetros que se van a evaluar

Tabla 11. Valores límite establecidos para vertimientos de agua

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR LIMITE
PH	Unidades de PH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	180,00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00

Fuente. Adaptado por el autor de la resolución 631 de 2015

En la tabla 13 se presenta el análisis de resultados en el afluente y efluente de la PTAR de Buenavista Boyacá, realizada por el laboratorio de la corporación autónoma regional de Cundinamarca, en la misma tabla se realiza la comparación y verificación del cumplimiento de algunos parámetros con el límite exigido por la resolución 631 de 2015.

Tabla 12. Caracterización de afluente y efluente PTAR quebrada Las Brujas

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA N°		CUMPLE	
		3195-14	3196-14	SI	NO
Aceites y grasas	mg AyG/L	-	48,5		
Cloruros	mg CL-/L	140	165		
Conductividad de campo	uS/cm	5461	772		
DBO	mgO <sub>2</sub> /L	312,2	256,5		x
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	460,8	380,4		x
Fenoles	mg Fenol/L	0,05	2,302		
Fosforo total	mg P/L	10875	28,722		
N. Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	1,9	459		
N. Nitrato	mg N-NO <sub>3</sub> /L	-	0,147		
Oxigeno disuelto en campo	mg O <sub>2</sub> /L	0,8	4,6		
PH en campo	Unidades	7,1	7,9	x	
Solidos Sedimentables	mL SS/L	20	0,2	x	
Solidos Suspendidos Volatiles	mg-SSV/L	-	3850		
Solidos Suspendidos	mg-SST/L	750	400		x
Coliformes Totales	NMP/100MI	2,30E+05	5,20E+05		

Fuente: Adatado por el autor de la CAR

En el laboratorio de la universidad Católica de Colombia se realizó el análisis de algunos parámetros los cuales fueron útiles para caracterizar solo algunos parámetros como PH, oxígeno disuelto, solidos sedimentables, etc, (Ver anexo 3). Debido a que este laboratorio no cuenta con los equipos necesarios para realizar ensayos como DBO y Solidos suspendidos volátiles necesarios para proceder con el diagnóstico de la planta de tratamiento, fue necesario recurrir a los servicios prestados por un laboratorio particular para ensayos de DBO y DQO los cuales se muestran en el anexo 4 y para solidos suspendidos volátiles a los análisis realizados por la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR) contenidos en anexo 5.

Luego de realizar la evaluación de los resultados de los parámetros evaluados y la evaluación de los mismos, se establece que el vertimiento realizados por la PTAR no cumplen con las normas de calidad del agua, contenidas en la resolución 631 de 2015.

### 2.3.2 Caudal

El primer punto es verificar el caudal el cual depende directamente de los usuarios que hacen uso del sistema de alcantarillado.

Para este aspecto se consultó la base de datos oficial de DANE para el municipio de Buenavista, obteniendo la siguiente información

Tabla 13. Población del municipio de Buenavista Boyacá según registro y proyecciones DANE

AÑO	2005	2010	2017	2020
POBLACIÓN	732	794	842	849

Fuente. Autor

Con la información registrada por el DANE se procede a realizar las proyecciones al año 2037 que es el año al cual se van a proyectar las estructuras de la PTAR, mediante los métodos aritmético, geométrico y exponencial, escogiendo el método exponencial el cual arrojó los siguientes resultados.

Tabla 14. Proyecciones de población por los diferentes métodos

Proyección DANE 2020	849,00
Estimación por el método aritmético	1033,25
Estimación por el método geométrico	1021,02
Estimación por el método exponencial	912,12
Proyección año 2037 por método exponencial	2123,00

Fuente. Autor

El nivel de complejidad se estableció del reglamento RAS 2000, donde se encuentran los siguientes aspectos

De acuerdo a la tabla 15, el nivel de complejidad del sistema es bajo.

Tabla 15. Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	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

Fuente. RAS 2000

La dotación según el nivel de complejidad fue de 90 L/hab•día, de la información contenida en la tabla 16, como se establece en el reglamento RAS 2000.

Tabla 16. Dotación neta según el nivel de complejidad

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Dotación neta (L/hab•día) climas templado y frio</b>	<b>Dotación neta (L/hab•día) clima calido</b>
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente. RAS 2000

Después de realizar la proyección de población para el año 2037 la cual fue de 2123 habitantes y realizar el cálculo del caudal, arrojo como resultado 5.57 l/s. (ver tabla 17)

Tabla 17. Demanda de caudal proyectado 2037

Año	Población proyectad	Q medio diario (l/s)	F de mayoración	Q errado	Q infiltración	Q máximo horario	Caudal (l/s)
2037	2123	2,95	1,77	0,2	0,15	5,22	5,57

Fuente. Autor

### 2.3.3 Cámara de llegada

Debido a que la cámara de llegada cuenta con una rejilla de cribado la cual no se puede remover e impide el mantenimiento, ya que las partículas que pasan por la rejilla quedan atrapadas en la cámara e impiden la circulación del agua y a que la PTAR no cuenta con un pretratamiento adecuado, se procede a rediseñar el canal de entrada, desarenador y rejilla de cribado, estos diseños se muestran en el anexo 2.

### 2.3.4 Sedimentador Primario

Con la información recolectada en la fase de dimensionamiento, se procede a verificar el tiempo de retención y la carga hidráulica superficial con los criterios de diseño establecidos en la normativa RAS.

Tabla 18. Verificación parámetros de diseño sedimentador primario.

Parametro	Valor	Unidad	Requerimiento RAS	Cumple
Tiempo de Retención ( $\theta_H$ ) =	0,277	horas	1,5 y 2,5 horas	NO
Carga hidraulica superficial q	100,44	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	Para Caudal Pico: 50<TDS<70	NO

Fuente: Autor

Debido a que el sedimentador primario no cumple con los parámetros de diseño se procede a realizar el diseño del sedimentador primario en el siguiente capítulo.

### 2.3.5 Reactor de lodos activados

Con la información recolectada en la fase de dimensionamiento, se procede a verificar los parámetros de diseño

Tabla 19. Verificación parámetros de diseño reactor de lodos activados

CALCULOS PROCESO LODOS ACTIVADOS				
CÁLCULOS	Valor	Unidades	Parametro	Cumple
Caudal (Q) =	481,25	m <sup>3</sup> /día	-	-
Volumen del tanque de aireación (V)=	25,37	m <sup>3</sup>	-	-
Tiempo de aireación (qdia) =	0,05	días	-	-
Tiempo de aireación (qhoras) =	1,27	horas	18-36	NO
Carga orgánica volumétrica DBO	5,92	gDBO/día	0,1-0,4	NO
Carga orgánica volumétrica NH3	1,01	(Kg DBO5)/(m <sup>3</sup> día)	-	-
Alimento/Microorganismos	1,54	(Kg DBO5/día)/(Kg SSVLM.día)	0,05-0,25	NO
Tiempo de aireación teórico	0,05	días	-	-
Tiempo de aireación teórico	1,27	horas	-	-
Peso seco de lodo	97,69	Kg SSV	-	-
Producción de lodos	33,84	Kg SSV/día	-	-
Edad del lodo	2,89	días	20-30	NO
Demanda bioquímica de oxígeno neta del sistema	55,70	mg/L	-	-
Carga orgánica de la DBO neto	26,81	Kg DBO5/día	-	-

Fuente: Autor.

Al verificar el tiempo de aireación y la carga orgánica volumétrica no cumple con los parámetros establecidos por el autor Jairo Romero. Por lo cual se procede a realizar el diseño del tanque de aireación.

### 2.3.6 Sistema de aireación.

La PTAR del municipio de Buenavista cuenta con un sistema de aireación, pero en las visitas realizadas no se encontraba en funcionamiento, y según el operador este sistema no funciona eficientemente, así que se procede a diseñar un nuevo sistema de aireación.

### 2.3.7 Sedimentador secundario

Tabla 20. Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga superficial		Carga de sólidos kg/dm <sup>2</sup>		Profundidad
	caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
sedimentación después de lodos activados	16-29 <34	40 - 65 <65	100 - 115	245	3,7 - 4,6

Fuente: Romero 2004

Con la información recolectada en la fase de dimensionamiento se procede a verificar si la estructura cumple con los parámetros de diseño.

Tabla 21. Verificación de los parámetros de diseño del sedimentador secundario.

Parametro	Valor	Unidad	Requerimiento	Cumple
Tiempo de Retención ( $t_H$ ) =	0,277	horas	1,5 y 2,5 horas	NO
Carga hidráulica superficial $q$	100,44	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	Para Caudal Pico: 41-49	NO

Fuente: Autor.

Debido a que la estructura no cumple con los parámetros establecidos en el RAS y en el libro de Jairo Romero Rojas se procede a rediseñar el sedimentador secundario.

## 2.4 Cálculos de rediseño

Se procede a rediseñar las estructuras que no cumplen los parámetros establecidos en la normativa RAS 2000. Estas estructuras se diseñarán para un periodo de 20 años.

### 2.4.1 Canal de entrada

Tabla 22. Características del canal de entrada diseñado

<b>DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA</b>		
* Caudal de diseño de la PTAR; $Q_d =$	5,57	L/s
* Velocidad de aprox. al canal; $V_{a,c} =$	0,30	m/s
* Área transversal canal de entrada; $A_{s,c} =$	0,019	m <sup>2</sup>
* Ancho útil del canal de entrada; $a =$	0,20	m
* Profundidad útil canal de entrada; $h_c =$	0,09	m
* Longitud total canal de entrada; $L_c =$	2,00	m
* Borde libre de la estructura; $b =$	0,10	m
* Altura total del canal de entrada; $H_c =$	0,19	m

Fuente: Autor.

### 2.4.2 Rejas de cribado

Se adopta un sistema de una reja con limpieza manual y formando un ángulo de 45°.

Tabla 23. Porcentaje de espacios libres entre barras

<b>PORCENTAJE DE ESPACIOS LIBRES ENTRE BARRAS</b>		
* Número de rejillas del sistema; $N_r =$	1	un
* Espesor de las barras de la reja; $e =$	4,76	mm
* Ancho de las barras de la reja; $A_b =$	25,4	mm
* Espaciamento libre entre barras; $E_b =$	15,0	mm
* Porcentaje de espacios libres; $E_L =$	75,9	%

Fuente: Autor.

Tabla 24. Dimensionamiento del canal de cribado

<b>DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE CRIBADO</b>		
* Velocidad entre barras de la rejilla; $V_a =$	0,30	m/s
* Tirante con rejilla limpia; $h_r =$	0,05	m
* Área transversal del canal de cribado; $A_r =$	0,019	m <sup>2</sup>
* Ancho útil del canal de cribado; $a_r =$	0,37	m
* Ancho útil adoptado canal de cribado; $a_r =$	0,20	m

Fuente: Autor.

Tabla 25. Perdidas de carga en la rejilla

<b>PERDIDA DE CARGA EN LA REJILLA</b>	
* Velocidad a través de la rejilla limpia; $V_r =$	0,40 m/s
* Pérdida de carga con reja limpia; $D_h =$	0,48 cm
* Pérd. carga reja colmatada al 50%; $D_{hc} =$	3,90 cm

Fuente: Autor.

### 2.4.3 Desarenador

Debido a que dentro de las unidades de la PTAR no existe un eficiente tratamiento primario se procede a diseñar el desarenador, en el anexo 2, se muestra el procedimiento realizado para el diseño.

Tabla 26. Características desarenador diseñado

<b>DISEÑO DEL DESARENADOR</b>		
<b>Parametro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Velocidad de sedimentación	953.84	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> día)
Tasa de desbordamiento	953.84	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> día)
Area superficial del desarenador	0.5	m <sup>2</sup>
Ancho	0,5	m
Longitud	1,25	m
Profundidad	0,3	m
Volumen efectivo	0,19	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	34,11	seg

Fuente: Autor.

#### 2.4.4 Sedimentador primario

Tabla 27. Características sedimentador primario rediseñado.

<b>Cálculo del Sedimentador Primario</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Caudal	5,57	L/s
Caudal	0,00557	m <sup>3</sup> /s
Tipo de Tanque	Circular	
Altura (h)	3,00	m
Diámetro (D) =	3,60	m <sup>3</sup> /s
Volumen (V) =	30,54	m <sup>3</sup>
Área Superficial ( <b>A<sub>s</sub></b> ) =	10,18	m <sup>2</sup>
Carga hidráulica superficial q	47,28	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Tiempo de Retención ( <b>q<sub>H</sub></b> ) =	1,523	horas
Profundidad (h) =	3,00	m

Fuente: Autor.

#### 2.4.5 Tanque de aireación

Para el diseño del tanque de aireación se tomaron las cargas de diseño mostradas en la tabla 29, las cuales fueron calculadas con la concentración de DBO y NH<sub>3</sub> del análisis de laboratorio de la CAR.

Tabla 28. Cargas de diseño tanque de aireación

<b>CARGAS DE DISEÑO</b>		
	mg DBO <sub>5</sub> /s	kg DBO <sub>5</sub> /día
<b>Carga de diseño DBO</b>	1738,954	150,2456256
<b>Carga de diseño NH<sub>3</sub></b>	295,9341	25,56870624

Fuente: Autor.

Con las cargas de diseño se realiza el dimensionamiento del tanque de aireación el cual debe cumplir con los parámetros de diseño establecidos por la reglamentación RAS 2000.

Tabla 29. Dimensionamiento del tanque de aireación

PARAMETRO	VALOR	Unidades
Diámetro tanque de aireación (D)=	9,5	m
Altura tanque de aireación (h)=	6,5	m
Caudal (Q) =	481,25	m3/día
Volumen del tanque de aireación (V)=	445,32	m3
Tiempo de aireación (q <sub>día</sub> ) =	0,93	días
Tiempo de aireación (q <sub>horas</sub> ) =	22,21	horas
Carga orgánica volumétrica DBO	0,34	gDBO/día
Carga orgánica volumétrica NH3	0,06	(Kg DBO5)/(m3 día)

Fuente: Autor.

La relación alimento microorganismos se calcula con la siguiente expresión, este es un parámetro importante ya que es otra manera de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en el reactor.

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Carga Orgánica Total}}{SSVLM * Vol. tanque}$$

Tabla 30. Relación alimento microorganismos

Parámetro	Valor	Unidades
Alimento/Microorganismos	0,0876331	(Kg DBO5/día)/(Kg SSVLM.día)
Solidos suspendidos volatiles del licor mezclado	2800	mg-SSVLM/L

Fuente: Autor.

Tabla 31. Datos del tanque de aireación diseñado

Parámetro	Valor	Unidades
Tiempo de aireación teórico	0,9253457	días
Tiempo de aireación teórico	22,208296	horas
Peso seco de lodo	1714,4849	Kg SSV
Producción de lodos	87,541843	Kg SSV/día
Edad del lodo	19,584748	días
Demanda bioquímica de oxígeno neta del sistema	265,37	mg/L
Carga orgánica de la DBO neto	127,70878	Kg DBO5/día
Carga orgánica de NH3	25,568706	NH3/día

Fuente: Autor.

Se procede a realizar el cálculo del sistema de aireación, el cual cumple con el volumen de aire requerido para el sistema.

Tabla 32. Diseño del sistema de aireación

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Oxígeno requerido para la DBO5	2	Kg O2/Kg DBO5
Oxígeno requerido para la NH3	4	Kg O2/Kg NH3
Calculo del oxígeno requerido Real (AOR)		
Oxígeno para DBO5	255,41756	(Kg O2)/día
Oxígeno para NH3	102,27482	(Kg O2)/día
AOR Oxígeno requerido	357,69239	Kg O2/día
AOR Oxígeno requerido	14,90385	Kg O2/hora
Correccion factor altitud	0,8	mmHg
Concentracion de saturacion de oxígeno Cs	34,36	mg/L
Calculo del oxígeno requerido real (SOR)	305,27	Kg O2/h
Numero de difusores	335	und

Fuente: Autor.

#### **2.4.6 Sedimentador secundario**

Después del tanque de aireación donde la materia orgánica es oxidada, el agua es llevada a un sedimentador secundario donde se separa la biomasa del agua. Un porcentaje de la biomasa sedimentada es recirculada con el propósito de mantener una buena concentración de microorganismos y el restante es llevado al lugar de disposición de lodos.

Tabla 33. Características sedimentador secundario rediseñado

<b>Cálculo del Sedimentador Secundario</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Caudal	5,57	L/s
Caudal	0,00557	m <sup>3</sup> /s
Tipo de Tanque	Circular	
Altura (h)	3,00	
Diámetro (D) =	4,00	m <sup>3</sup> /s
Volumen (V) =	37,70	
Área Superficial ( <b>As</b> ) =	12,57	m <sup>2</sup>
Carga hidraulica superfiial q	38,296	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Tiempo de Retención ( <b>q<sub>H</sub></b> ) =	1,880	horas
Profundidad ( <b>h</b> ) =	3,00	m
Carga de solidos	244,30	kg/d-m <sup>2</sup>

Fuente: Autor.

En la tabla 34 se muestra el cálculo del caudal recirculado y la eficiencia de remoción que presenta el sistema.

Tabla 34. Cálculo del porcentaje de recirculación de lodos y eficiencia de remoción

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Caudal de recirculación	0,00300	m <sup>3</sup> /s
	259,13	m <sup>3</sup> /d
porcentaje de recirculacion	0,54	53,85%
X2	10000	mg/l
Eficiencia de remocion	0,85	85,00%

Fuente: Autor

Luego de realizar el rediseño de las estructuras de la planta de tratamiento, en el anexo 6 se presentan los planos de las estructuras, que cumplen con la reglamentación RAS 2000, generando un vertimiento que cumple con la resolución 631 de 2015.

## 2.5 Resumen del rediseño de las estructuras

Para comenzar con la operación del sistema de lodos activados se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se debe verificar que se hayan removido los residuos sólidos, arenas y grasas para garantizar un correcto funcionamiento del proceso.
- Se debe garantizar una relación alimento microorganismo entre 0,2 y 0,4 mg DBO/mgSSLM.día
- Se debe realizar el adecuado mantenimiento de los sedimentadores primario y secundario de acuerdo al manual de operación y mantenimiento para evitar acumulación de grandes cantidades de lodo.
- Se debe verificar que el caudal de recirculación se encuentre en el rango del 23% al 75%, para el presente diseño el valor es de 53.85% del caudal de diseño.

### 2.5.1 Manual de operación y mantenimiento

Se presenta un manual para mejorar el proceso de remoción de materia contaminante para la PTAR tal y como esta en este momento, se recomienda realizar la modificación de este manual cuando se pongan en marcha las mejoras planteadas en el presente trabajo.

Tabla 35. Manual de operación y mantenimiento PTAR Buenavista Boyacá.

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PTAR BUENAVISTA BOYACÁ		
Estructura	Operación	Mantenimiento
<b>Caja de inspección</b>	La caja de inspección de llegada a la planta, esta localizada en la parte final del colector y sirve inicialmente como rejilla primaria, regulador de caudal a la planta y vertedero de excesos, el cual permite que solo el caudal de operación vaya a la planta	Se debe mantener libre de material retenido, con la ayuda de una pala y carretilla de acuerdo a la cantidad de material, este debe ser llevado al sitio de disposición final de residuos sólidos. El mantenimiento se debe realizar una vez al día.
<b>Rejilla de cribado</b>	En la rejilla se retiene todo el material de tamaño mayor de 1,5 cm. Para evitar que material sólido de gran tamaño llegue al desarenador	Proceder de igual manera que la caja de inspección
<b>Sedimentador primario</b>	Consiste en un tanque de forma circular, con una tolva inferior la cual esta provista de una válvula para realizar la evacuación de sedimentos	Se debe accionar la válvula que se encuentra en la parte inferior del tanque, la cual abre paso a los sedimentos que son transportados por una tubería a los lechos de secado. Realizar esta actividad todos los días hasta que el agua que llega a los lechos de secado se torne de un color claro.
<b>Tanque de aireación</b>	Consiste en un tanque cilíndrico vertical, dotado en el fondo por difusores de aire alimentados por un equipo soplador produce una mezcla completa dentro del reactor y alimenta de oxígeno a la colonia de bacterias	Se debe garantizar que el equipo aireador se encuentre en funcionamiento y que el retorno de lodos se realice adecuadamente para garantizar una buena concentración de microorganismos
<b>Sedimentador secundario</b>	Consiste en un tanque cilíndrico con una tolva en el fondo, el agua proveniente del reactor llega al tanque entra al modulo de sedimentación y es evacuada por la parte superior.	Se debe accionar la válvula que se encuentra en la parte inferior del tanque, la cual abre paso a los sedimentos que son transportados por una tubería a los lechos de secado. Realizar esta actividad todos los días hasta que el agua que llega a los lechos de secado se torne de un color claro.
<b>Lechos de secado</b>	En los lechos de secado se dispone el lodo proveniente del sistema de tratamiento, donde se deshidrata hasta unos niveles que permiten su manipulación para disposición y uso final.	Se debe realizar el retiro de los lodos deshidratados cuando estos se encuentren en los niveles adecuados para su retiro.

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado a la PTAR Quebrada Las Brujas del municipio de Buenavista Boyacá, permitió determinar que esta no cumple con los parámetros establecidos para realizar vertimientos en la fuente receptora, por este motivo se realizó el rediseño de algunas estructuras para lograr el cumplimiento de la reglamentación vigente.

Luego del diagnóstico, se puede atribuir que la baja eficiencia en la remoción de materia contaminante se presenta por fallas en equipos, bajos tiempos de aireación, poco mantenimiento a las estructuras y bajo conocimiento del operador frente al manejo óptimo de una PTAR.

Después de evaluar las unidades del sistema de lodos activados y verificar su cumplimiento con la reglamentación RAS 2000, se concluye que ninguna estructura cumple con los parámetros establecidos.

El sistema diseñado para el año 2037 ofrece una remoción del 85%, lo cual nos garantiza el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua establecidos en la resolución 631 de 2015.

El manual de operación y mantenimiento ofrece al operario y a los visitantes de la PTAR una explicación sencilla de cada uno de los procesos realizados y especificaciones técnicas de la secuencia de los procesos, así como las labores y periodicidad del mantenimiento de cada estructura.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar capacitaciones al personal que permita conocer el proceso realizado en cada una de las estructuras y el adecuado mantenimiento que se le debe hacer.

Tomar muestras en el tanque de aireación y en la línea de recirculación de lodos para establecer la concentración de Sólidos suspendidos volátiles y poder calcular los parámetros cada 15 días.

Se recomienda que los operarios de la planta de tratamiento utilicen los elementos de protección industrial con el fin de evitar riesgos.

Llevar un control de las labores establecidas en el manual de operación y mantenimiento.

Actualizar el manual de operación y mantenimiento cuando se realicen las mejoras propuestas en este trabajo.

Se recomienda retirar la cámara de entrada del actual sistema ya que constantemente se encuentra colmatada y realizar mantenimiento se torna muy difícil debido a que la rejilla no se puede remover para retirar los sedimentos de la parte inferior, lo que hace que el agua se vaya por la tubería de excesos sin ningún tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALCALDÍA MUNICIPAL DE BUENAVISTA-BOYACÁ.** Plan de desarrollo municipal Respeto, Desarrollo, oportunidades. [En línea] Agosto 05 de 2017. [Citado: Agosto 14 de 2017]. Disponible en: (<http://www.buenavista-boyaca.gov.co/index.shtml?apc=v-xx1-&x=2164024>).

**BURMISTRZ, PIOTR; ROZWADOWSKI, ANDRZEJ; BURMISTRZ, MICHAŁ; KARCZ, ALEKSANDER.** Coke dust enhances coke plant wastewater treatment. 12/2014.

**CARRILLO CORREA, Ivonne Tatiana.** Mejoramiento y estandarización de los procedimientos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Bavaria s.a. a través de los SOP (standard operation procedure). [En línea] 2012. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: (<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7509/2/141069.pdf>).

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION.** Colombia, Proyecciones de Población Municipales por Área – DANE. [online] 2002. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: ([https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/proyeccionmunicipios2005\\_2020.xls](https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/proyeccionmunicipios2005_2020.xls)).

**GALEANO NIETO, Lady Johana; ROJAS IBARRA, Vivian Daniela; SANTAMARIA ALZATE, Felipe.** Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Vélez Santander. [En línea] 2016. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: (<http://hdl.handle.net/10983/13930>)

**GIZATULIN, R. A.; SENKUS, V. V.; VALUEVA, A. V.; BALDANOVA, A. S; BOROVIKOV, I. F.** A Technology of Wastewater Sludge Treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 127, Issue 1, pp. 012038 (2016).

**JIANG Y, MARTINEZ-GUERRA E, GNANESWAR GUDE V, MAGBANUA B, TRUAX DD, MARTIN JL.** Wetlands for Wastewater Treatment. Department of Civil and Environmental Engineering Mississippi State University, Mississippi State, MS 39762, USA. 10/2016.

**MOLINOS, María; HERNANDEZ, Francesc; SALA, Ramón.** Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. [En línea] 2012. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: (<http://revistas.ucm.es/index.php/aguc/article/viewfile/39309/37882>).

**NOYOLA Adalberto; MORGAN Juan Manuel; GÜERECA Leonor Patricia.** Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Instituto de ingeniería unam.

**JIANG Y, MARTINEZ-GUERRA E, GNANESWAR GUDE V, MAGBANUA B, TRUAX DD, MARTIN JL.** Wetlands for Wastewater Treatment. Department of Civil and Environmental Engineering Mississippi State University, Mississippi State, MS 39762, USA. 10/2016.

**RAS, REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. 2000.** Ministerio de vivienda Ciudad y territorio. [En línea] 2000. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: ([http://www.minvivienda.gov.co/documents/viceministerioagua/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/documents/viceministerioagua/010710_ras_titulo_e_.pdf))

**ROMERO, JAIRO ALBERTO ROJAS. 2004.** Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá D.C. : Escuela colombiana de ingeniería, 2004.

**SCIENCE.GOV, YOUR GATEWAY TO U.S FEDERAL SCIENCE.** [En línea] 2017. [Citado: Abril 14 de 2017]. Disponible en: (<https://www.science.gov/topicpages/w/wastewater+treatment+research.html>).

**XING XQ, HUANG CL, LIU M, CHEN Y.** Research on the treatment of wastewater containing PVA by ozonation-activated sludge process. College of Architecture and Environment, Sichuan University.

**ZHENG, TIANLONG; WANG, JUAN; WANG, QUNHUI; MENG, HUIMIN; WANG, LIHONG.** Research trends in electrochemical technology for water and wastewater treatment. Applied Water Science, Online First. 03/2015.

## ANEXOS|

### ANEXO 1. EVALUACIÓN DEL DISEÑO DEL ACTUAL SISTEMA: MEMORIAS DE CÁLCULO

#### Sedimentador primario

$$Q = 5.57 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{86400s}{1 \text{ dia}} = 0.00557 \frac{m^3}{s}$$

- Dimensiones del sedimentador

Los sedimentadores con los que cuenta la planta de tratamiento son de forma circular provistos de las siguientes medidas

Diámetro: 2.47 m

Altura útil: 1.16 m

- Volumen efectivo

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{\pi(2.47)^2}{4} * 1.16 = 5.56m^3$$

- Tiempo de retención

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

$$TR = \frac{5.56m^3}{0.00557 \frac{m^3}{s}} = 997.9 s = 0.28 \text{ horas}$$

- Área superficial

$$As = \frac{\pi(2.47)^2}{4} = 4.79m^2$$

- Carga hidráulica superficial

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{481.25 \frac{m^3}{s}}{4.79m^2} = 100.47 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia}$$

### Tanque de aireación: Lodos activados

$$Q = 5.57 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{86400s}{1 \text{ dia}} = 0.00557 \frac{m^3}{s} = 481.25 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

- Dimensiones del tanque

Diámetro: 3.70 m

Altura útil: 2.36 m

- Volumen efectivo

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{\pi(3.70)^2}{4} * 2.36 = 25.37m^3$$

- Tiempo de retención

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

$$TR = \frac{25.37m^3}{0.00557 \frac{m^3}{s}} = 4554.76 s = 1.27 \text{ horas}$$

- Cargas de diseño

#### Demanda bioquímica de oxígeno

Carga Orgánica de DBO5= [Concentración de DBO5]\*Q

Carga Orgánica de DBO5=[312.20mg/L]\*5.57 L/s

Carga Orgánica de DBO5= 1738.95 mg DBO5/s

Carga Orgánica de DBO5= 150.25 Kg DBO5/día

#### Nitrógeno

Carga Orgánica de NH3= [Concentración de NH3]\*Q

Carga Orgánica de NH3= [53.13 mg/L] \* 5.57 L/s

Carga Orgánica de NH3= 295.93 mg NH3/s

Carga Orgánica de NH3= 25.57 Kg NH3/día

- Carga Orgánica volumétrica

### Demanda bioquímica de oxígeno

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = \frac{Carga\ Orgánica}{Volumen\ efectivo\ Tanque}$$

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = \frac{150.25 \frac{Kg\ DBO5}{día}}{25.37\ m^3}$$

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = 5.92 \frac{Kg\ DBO5}{m^3\ día}$$

### Nitrógeno

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = \frac{Carga\ Orgánica}{Volumen\ efectivo\ Tanque}$$

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = \frac{25.57 \frac{Kg\ NH3}{día}}{25.37\ m^3}$$

$$Carga\ orgánica\ volumétrica = 1.01 \frac{Kg\ NH3}{m^3\ día}$$

Entonces el total de la carga orgánica volumétrica es de 6.93 Kg/m<sup>3</sup>-día

- Tiempo de aireación teórica

$$Tiempo\ de\ aireación\ teórica = \frac{Volumen\ efectivo\ del\ tanque}{Caudal}$$

$$Tiempo\ de\ aireación\ teórica = \frac{25.37\ m^3}{481.25 \frac{m^3}{día}} = 0.05\ días = 1.27\ horas$$

- Alimento microorganismos

SSVLM: 3850 mg/L

$$\frac{A}{M} = \frac{Carga\ orgánica}{SSVLM * volumen\ del\ tanque}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{150.25 \frac{Kg\ DBO5}{día}}{3.85 \frac{Kg}{m^3} * 25.37\ m^3}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{150.25 \frac{Kg\ DBO5}{día}}{3.85 \frac{Kg}{m^3} * 25.37\ m^3} = 1.53 \frac{Kg\ DBO5/día}{Kg\ SSVLM. día}$$

- Edad del lodo

Para calcular la edad del lodo se requiere calcular otros parámetros

#### Peso seco lodos

$$\text{Peso seco de lodos} = \frac{\text{Carga Organica}}{\text{Alimento/Microorganismo}}$$

$$\text{Peso seco de lodos} = \frac{150.25 \text{ Kg DBO5/día}}{1.53 \text{ Kg} \frac{\text{DBO5}}{\text{Kg SSV. día}}}$$

$$\text{Peso seco de lodos} = 97.69 \text{ Kg SSV}$$

#### Producción de lodos

$$\text{Producción de lodos} = 1.2 * \left(\frac{A}{M}\right)^{0.23} * \left(\frac{\text{Reducción de DBO}}{100}\right) * \text{Carga Orgánica}$$

$$\text{Producción de lodos} = 1.2 * \left(1.53 \text{ Kg} \frac{\text{DBO5}}{\text{Kg SSV. día}}\right)^{0.23} * \left(\frac{18\%}{100}\right) * 150.25 \frac{\text{Kg DBO5}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción de lodos} = 33.84 \text{ Kg SSV/día}$$

#### Edad del lodo

$$\text{Edad del lodo} = \frac{\text{Peso Seco de lodos}}{\text{Producción de lodos}}$$

$$\text{Edad del lodo} = \frac{97.69 \text{ Kg SSV}}{33.84 \text{ Kg SSV/día}}$$

$$\text{Edad del lodo} = 2.88 \text{ días}$$

- Requerimiento de oxígeno

Caudal de entrada: 481.25 m<sup>3</sup>/día

DBO5 entrada: 312.2 mg/L

DBO5 salida: 256.5 mg/L

NH3 entrada: 53.13 mg/L

Se determinó la demanda bioquímica de oxígeno neta del sistema, por medio de la siguiente relación:

DBO5 neto= DBO5 entrada-DBO5 salida

DBO5 neto= 312.2mg/L-256.5 mg/L

DBO5 neto= 55.7 mg/L

Carga orgánica de la DBO neto:

Carga orgánica de DBO5 neto= DBO5 neto\*Caudal de entrada  
Carga orgánica de DBO5 neto= (57.5 mg/L\*481.25 m<sup>3</sup>/día)/1000  
Carga orgánica de DBO5 neto= 26.80 Kg DBO5/día

Carga orgánica de NH3:

Carga orgánica de NH3= NH3\*Caudal de entrada  
Carga orgánica de NH3= (53.13 mg/L\*481.25 m<sup>3</sup>/día)/1000  
Carga orgánica de NH3= 25.57Kg NH3/día

Los siguientes datos se asumen:

Oxígeno requerido para la DBO5: 2 Kg O2/Kg DBO5

Oxígeno requerido para la NH3: 4 Kg O2/Kg NH3

- Calculo del oxígeno requerido Real (AOR)

Se calculó a partir de la obtención de los siguientes valores:

$$\text{Oxígeno para DBO5: } 2 \frac{\text{Kg O2}}{\text{Kg DBO5}} * 26.80 \frac{\text{Kg DBO5}}{\text{día}} = 53.61 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$\text{Oxígeno para NH3: } 4 \frac{\text{Kg O2}}{\text{Kg NH3}} * 25.27 \frac{\text{Kg NH3}}{\text{día}} = 102.27 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$AOR = \text{Oxígeno para DBO} + \text{Oxígeno para NH3}$$

$$AOR = 53.61 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}} + 102.27 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$AOR = 155.89 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}} = 6.5 \frac{\text{Kg O2}}{\text{hora}}$$

## Sedimentador secundario

$$Q = 5.57 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{86400s}{1 \text{ dia}} = 0.00557 \frac{m^3}{s}$$

- Dimensiones del sedimentador

Los sedimentadores con los que cuenta la planta de tratamiento son de forma circular provistos de las siguientes medidas

Diámetro: 2.47 m

Altura útil: 1.16 m

- Volumen efectivo

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{\pi(2.47)^2}{4} * 1.16 = 5.56m^3$$

- Tiempo de retención

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

$$TR = \frac{5.56m^3}{0.00557 \frac{m^3}{s}} = 997.9 s = 0.28 \text{ horas}$$

- Área superficial

$$As = \frac{\pi(2.47)^2}{4} = 4.79m^2$$

- Carga hidráulica superficial

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{481.25 \frac{m^3}{\text{dia}}}{4.79m^2} = 100.47 \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{dia}}$$

## ANEXO 2. REDISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS CON PROYECCIÓN AL 2037: MEMORIAS DE CÁLCULO

En este anexo se presentan las memorias de cálculo de rediseño de la PTAR Quebrada Las Brujas del municipio de Buenavista, con una proyección de 20 años.

### TRATAMIENTO PRIMARIO

#### Desarenador

Se removerán partículas de arena (densidad;  $d=2,65 \text{ g/cm}^3$ ), con diámetros superiores a 0,1mm.

$$V_s = ((\rho_{\text{arena}} - \rho_{\text{agua}}) \times \phi^2 \times g / (18 \times \mu) + V_{s, 10^\circ\text{C}} \times (T^\circ\text{C} + 23.3)/33.3)/2$$

$$V_s = 11.04 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 953.84 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

- Tasa de desbordamiento  $700 - 1600 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$ . Según RAS, se adopta  $953.84 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$
- $A = Q / V_s$ ; donde:

$A$  = Área superficial del desarenador

$$A = \frac{5.57/1000}{953.84 * 86400} = 0.5 \text{ m}^2$$

Usar una Relación Largo (L) - Ancho (An) entre: 2,5:1 a 5:1

$$\frac{L}{An} = 2.5$$

- $Ancho = \sqrt{\frac{0.5}{2.5}} = 0.5 \text{ m}$  Se adopta un ancho de 0.5 m
- $Longitud = \frac{0.5 \text{ m}}{2.5} = 1.25 \text{ m}$
- Profundidad: se adopta la altura mínima establecida por el RAS  $H=0.30\text{m}$

$$\text{Volumen efectivo} = L * A * P$$

$$\text{Volumen efectivo} = 1.25m * 0.5m * 0.3m$$

$$\text{Volumen efectivo} = 0.19 m^3$$

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{0.19 m^3}{0.00557 \frac{m^3}{s}} = 34.11 \text{ seg}$$

### Tanque de aireación: Lodos activados por aireación extendida

$$Q = 5.57 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{86400s}{1 \text{ dia}} = 0.00557 \frac{m^3}{s} = 481.25 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

- Dimensiones del tanque

Diámetro: 9.50 m

Altura útil: 6.50 m

- Volumen efectivo

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{\pi(9.50)^2}{4} * 6.50 = 445.32 m^3$$

- Tiempo de retención

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

$$TR = \frac{445.32m^3}{0.00557 \frac{m^3}{s}} = 22.21 \text{ horas}$$

- Cargas de diseño

### Demanda bioquímica de oxígeno

Carga Orgánica de DBO5= [Concentración de DBO5]\*Q

Carga Orgánica de DBO5=[312.20mg/L]\*5.57 L/s

Carga Orgánica de DBO5= 1738.95 mg DBO5/s

Carga Orgánica de DBO5= 150.25 Kg DBO5/día

### Nitrógeno

Carga Orgánica de NH<sub>3</sub>= [Concentración de NH<sub>3</sub>]\*Q  
 Carga Orgánica de NH<sub>3</sub>= [53.13 mg/L]\*5.57 L/s  
 Carga Orgánica de NH<sub>3</sub>= 295.93 mg NH<sub>3</sub>/s  
 Carga Orgánica de NH<sub>3</sub>= 25.56 kg NH<sub>3</sub>/s

- Carga Orgánica volumétrica

#### Demanda bioquímica de oxígeno

$$Carga\ organica\ volumetrica = \frac{Carga\ Orgánica}{Volumen\ efectivo\ Tanque}$$

$$Carga\ organica\ volumetrica = \frac{150.25 \frac{Kg\ DBO5}{día}}{445.32\ m^3}$$

$$Carga\ organica\ volumetrica = 0.34 \frac{Kg\ DBO5}{m^3\ día}$$

#### Nitrógeno

$$Carga\ organica\ volumetrica = \frac{Carga\ Orgánica}{Volumen\ efectivo\ Tanque}$$

$$Carga\ organica\ volumetrica = \frac{25.57 \frac{Kg\ NH3}{día}}{445.32\ m^3}$$

$$Carga\ organica\ volumetrica = 0.06 \frac{Kg\ NH3}{m^3\ día}$$

El total de la carga orgánica volumétrica es de 0.40 kg/m<sup>3</sup> día.

- Alimento/Microorganismos

SSV: 2800 mg/L

$$\frac{A}{M} = \frac{Carga\ Orgánica}{SSVL * Vol\ tanque}$$

$$\frac{A}{M} = \frac{150.25\ Kg\ DBO5/día}{2.8 \frac{Kg}{m^3} * 445.32\ m^3}$$

$$\frac{A}{M} = 0.09 \frac{Kg\ DBO5}{Kg\ SSV. día}$$

- Edad del lodo

Para calcular la edad del lodo se requiere calcular otros parámetros

#### Peso seco lodos

$$\text{Peso seco de lodos} = \frac{\text{Carga Organica}}{\text{Alimento/Microorganismo}}$$

$$\text{Peso seco de lodos} = \frac{150.25 \text{ Kg DBO5/día}}{0.09 \text{ Kg} \frac{\text{DBO5}}{\text{Kg SSV. día}}}$$

$$\text{Peso seco de lodos} = 1714.48 \text{ Kg SSV}$$

#### Producción de lodos

$$\text{Producción de lodos} = 1.2 * \left(\frac{A}{M}\right)^{0.23} * \left(\frac{\text{Reducción de DBO}}{100}\right) * \text{Carga Orgánica}$$

$$\text{Producción de lodos} = 1.2 * \left(0.09 \text{ Kg} \frac{\text{DBO5}}{\text{Kg SSV. día}}\right)^{0.23} * \left(\frac{85\%}{100}\right) * 150.25 \frac{\text{Kg DBO5}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción de lodos} = 87.54 \text{ Kg SSV/día}$$

#### Edad del lodo

$$\text{Edad del lodo} = \frac{\text{Peso Seco de lodos}}{\text{Producción de lodos}}$$

$$\text{Edad del lodo} = \frac{1714.48 \text{ Kg SSV}}{87.54 \text{ Kg SSV/día}}$$

$$\text{Edad del lodo} = 19.58 \text{ días}$$

- Requerimiento de oxígeno

Caudal de entrada: 481.25 m<sup>3</sup>/día

DBO5 entrada: 312.2 mg/L

DBO5 salida: 46.83 mg/L

NH3 entrada: 53.13 mg/L

Se determinó la demanda bioquímica de oxígeno neta del sistema, por medio de la siguiente relación:

DBO5 neto= DBO5 entrada-DBO5 salida  
DBO5 neto= 312.2mg/L-46.83mg/L  
DBO5 neto= 265.37 mg/L

Carga orgánica de la DBO neto:

Carga orgánica de DBO5 neto= DBO5 neto\*Caudal de entrada  
Carga orgánica de DBO5 neto= (265.37 mg/L\*481.25 m<sup>3</sup>/día)/1000  
Carga orgánica de DBO5 neto= 127.71 Kg DBO5/día

Carga orgánica de NH3:

Carga orgánica de NH3= NH3\*Caudal de entrada  
Carga orgánica de NH3= (53.13 mg/L\*481.25 m<sup>3</sup>/día)/1000  
Carga orgánica de NH3= 25.57Kg NH3/día

Los siguientes datos se asumen:

Oxígeno requerido para la DBO5: 2 Kg O2/Kg DBO5

Oxígeno requerido para la NH3: 4 Kg O2/Kg NH3

- Cálculo del oxígeno requerido Real (AOR)

Se calculó a partir de la obtención de los siguientes valores:

$$\text{Oxígeno para DBO5: } 2 \frac{\text{Kg O2}}{\text{Kg DBO5}} * 127.71 \frac{\text{Kg DBO5}}{\text{día}} = 255.42 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$\text{Oxígeno para NH3: } 4 \frac{\text{Kg O2}}{\text{Kg NH3}} * 25.57 \frac{\text{Kg NH3}}{\text{día}} = 102.27 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$AOR = \text{Oxígeno para DBO} + \text{Oxígeno para NH3}$$

$$AOR = 53.61 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}} + 102.27 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}}$$

$$AOR = 357.69 \frac{\text{Kg O2}}{\text{día}} = 14.90 \frac{\text{Kg O2}}{\text{hora}}$$

- Cálculo del oxígeno requerido real (SOR)

Cálculo del factor de corrección de la altitud de la PTAR Quebrada las Brujas del municipio de Buenavista

Temperatura del sitio: 18 °C

Elevación del lugar: 1984 msnm

Presión barométrica dl lugar: 610 mmHg

Presión a condiciones estándar: 760mmHg

Presión de vapor del agua en función de la temperatura: 15.48 mmHg

$$\text{Coreccion factor altitud} = \frac{P \text{ barometrica lugar} - P \text{ vapor funcion temperatura}}{P \text{ condiciones estandar} - P \text{ vapor agua funcion temp}}$$

$$\text{Coreccion factor altitud} = \frac{(610\text{mmHg} - 15.48\text{mmHg})}{(760\text{mmHg} - 15.48\text{mmHg})}$$

$$\text{Coreccion factor altitud} = 0.8\text{mmHg}$$

- Concentración de saturación de oxígeno a la temperatura del sitio:

$$= 14.652 - (0.41022 * T) + 10.007991 * ((T)^2) - (0.000077774 * (T)^3)$$

$$= 14.652 - (0.41022 * 18) + 10.007991 * ((18)^2) - (0.000077774 * (18)^3)$$

$$C_s \text{ PTAR} = 34.36 \text{ mg/L}$$

Para el diseño se utilizan difusores de burbuja fina

- Cs: saturación de oxígeno bajo condiciones estándar, 9.17 mg/L
- FC: factor de corrección de transferencia de oxígeno, 0.7910
- Alfa: Factor de corrección de transferencia de oxígeno, 0.5 (difusores de burbuja fina)
- Beta: Factor de salinidad y superficie tensión, 0.95
- C1: Oxígeno deseado en el tanque., 2mg/L
- Temperatura en el tanque, 18°C
- Cw: Concentración de saturación de oxígeno a la temperatura actual

$$C_w = \beta * C_s$$

$$C_w = 0.95 * 34.36$$

$$C_w = 32.64 \text{ mg/L}$$

- Calculo del oxígeno requerido real (SOR)

$$SOR = \frac{(AOR)(C_s)}{[(\beta)(FC)(C_w) - C_1](\alpha)(1.024)^{T^\circ - 20}}$$

$$SOR = \frac{(14.90)(9.17)}{[(0.95)(0.7910)(32.64) - 2](0.5)(1.024)^{18-20}}$$

$$SOR = 305.27 \text{ Kg O}_2/\text{hora}$$

- Numero de difusores:

$D_i = 6.5 \text{ m}$

$CO_2 = \text{Concentración de O}_2 \text{ en el aire} = 0.28 \text{ Kg O}_2/\text{m}^3 \text{ aire}$

- $N' = \text{tasa específica de absorción} = 4.4 - 6.0 \%$ . Se adopta un valor de 5%
- $n\% = \text{tasa de absorción}$

$$n\% = n' * D_i$$

$$n\% = 0.05 * 6.5 \text{ m}$$

$$n\% = 0.325$$

- $AR = \text{Fracción aprovechada}$

$$AR = (SOR) / n\% * CO_2$$

$$AR = (305.27 \text{ Kg O}_2/\text{h}) / (0.325 * 0.28 \text{ Kg O}_2/\text{m}^3 \text{ aire})$$

$$AR = 3354.62 \text{ m}^3 \text{ aire/h}$$

- Numero de difusores

Diseñando difusores de 12" los cuales aportan aproximadamente 10 m<sup>3</sup>/h, se tiene que:

$$\# \text{ Difusores} = AR / \text{aporte de aire cada difusor}$$

$$\# \text{ Difusores} = 3354.62 \text{ m}^3 \text{ aire/hora} / 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\# \text{ Difusores} = 335$$

## Sedimentador secundario

$$Q = 5.57 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} * \frac{86400\text{s}}{1 \text{ dia}} = 0.00557 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Dimensiones del sedimentador

Los sedimentadores con los que cuenta la planta de tratamiento son de forma circular provistos de las siguientes medidas

Diámetro: 4.00 m

Altura útil: 3.00 m

- Volumen efectivo

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

$$V = \frac{\pi(4.00)^2}{4} * 3.00 = 37.70 \text{ m}^3$$

- Tiempo de retención

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

$$TR = \frac{37.70 \text{ m}^3}{0.00557 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 1.9 \text{ horas}$$

- Área superficial

$$As = \frac{\pi(4.00)^2}{4} = 12.57 \text{ m}^2$$

- Carga hidráulica superficial

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{481.25 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{12.57 \text{ m}^2} = 38.30 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

- Carga de solidos

La carga de SST se obtuvo de los resultados de análisis de laboratorio realizado por la corporación autónoma regional CAR

$$525 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 3069.962 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$C_s = \frac{\text{Kg SST en la unidad}}{\text{Area superficial}}$$

$$C_s = \frac{3069.962 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{12.57 \text{ m}^2} = 244.30 \frac{\text{Kg}}{\text{día. m}^2}$$

## ANEXO 3. ANÁLISIS DE LABORATORIO REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

LABORATORIO UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA				
Bogotá, 25 de Agosto de 2017				
<b>Proyecto:</b> Diagnóstico, evaluación y planteamiento de alternativas de mejora en los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyacá.				
<b>Municipio:</b> Buenavista Boyacá				
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</b>				
FECHA DEL MUESTREO				: 21 de Agosto de 2017
FECHA DEL ANÁLISIS				: 22 de Agosto de 2017
<b>RESULTADO DE ANÁLISIS</b>				
<b>Resultado de análisis de laboratorio</b>				
VARIABLE	UNIDADES	NORMATIVIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE
PH	Unidades de PH	6,00-9,00	5,95	4,77
Solidos Sedimentables	mL / L	5	26	12
Solidos suspendidos Totales	mg / L	100	693	566
Turbiedad	NTU		345	305
Color	Ptco		2850	2272
Sal			0,6	0,5
Temperatura	°C		22,1	22,5
Oxígeno	mg / L		1,1	1
% Oxígeno	%		15	15
Conductividad	µs / cm		1296	1053
Resistividad	Ω.cm		771	947

**LABORATORIO UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

Bogotá, 25 de Agosto de 2017

**Proyecto:** Diagnóstico, evaluación y planteamiento de alternativas de mejora en los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Buenavista Boyacá.



**Municipio:** Buenavista Boyacá

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

FECHA DEL MUESTREO : 24 de Agosto de 2017  
 FECHA DEL ANÁLISIS : 25 de Agosto de 2017

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**Resultado de análisis de laboratorio**

VARIABLE	UNIDADES	NORMATIVIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE
PH	Unidades de PH	6,00-9,00	6,29	4,78
Solidos Sedimentables	mL / L	5	3	1
Solidos suspendidos Totales	mg / L	100	511	237
Turbiedad	NTU		151	169
Color	Ptco		1847	2725
Sal			0,5	0,2
Temperatura	°C		21,2	20,9
Oxigeno	mg / L		0,8	1,4
% Oxigeno	%		13	198
Conductividad	µs / cm		961	442
Resistividad	Ω.cm		1040	2250

# ANEXO 4. ANÁLISIS DE LABORATORIO REALIZADOS EN LABORATORIO PARTICULAR



Código: F-08-02  
Versión: 2  
Fecha: 26/01/2016



Acreditación: IDEAM  
Resolución: 1433  
Junio 28 de 2014



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D. C.  
SECRETARÍA DE  
SALUD DE BOGOTÁ



INSTITUTO  
NACIONAL DE  
SALUD

## RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS

INFORME DE RESULTADOS Nº: 19179						
CLIENTE:	FABIAN ESPITIA		COTIZACIÓN Nº:	R180-2017	CANTIDAD:	450 ml
NIT:	N.E.		ODS:	17-3299	FECHA DE MUESTREO:	24/09/2017
TELÉFONO:	N.E.				T (° C) MUESTREO:	N.E.
CONTACTO:	FABIAN ESPITIA				FECHA DE RECIBIDO:	25/09/2017
CARGO:	N.E.				TIPO DE EMPAQUE:	P/V
DIRECCIÓN:	CALLE 131B # 94A-23				TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL
CIUDAD:	BOGOTÁ				PUNTO DE CAPTACIÓN/	Orden de servicio cliente:
ID. MUESTRA:	17-7772				LUGAR DE RECOGIDA:	PTAR Quebrada las Brujas Buena Vista Boyaca
					ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FQ: 15 días
						Análisis MB: 24 horas
Fisicoquímica						
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	Resolución 0631 de 2015. Art.8 ARD y ARnD con carga < ó = a 625,00Kg/día DBO.
26/09/2017	DQO (A)	312.2	mg O2/l	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5210 C.	180
25/09/2017	DBO5 (A)	520.6	mg O2/l	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, ASTM D888-12 Método C	90

\* Análisis subcontratados

Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos sedimentables fueron medidos in situ.

(A) Análisis acreditado por BIOPOLAB ante el IDEAM

Resolución 631 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"

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico o al correo e inmediatamente sera atendida.
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:

Liliana Olmos Ravagli  
Gerente Técnica

Ing. Química Registro Prof. 14541 Consejo. P de I.Q. de Col.

Fecha de expedición: 6/10/2017

# ANEXO 5. ANÁLISIS DE LABORATORIO REALIZADO POR LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL (CAR)



## REPORTE DE RESULTADOS

INFORME N°: **941**

CLIENTE: **ALCALDIA DE BUENAVISTA DRA. JANETH BRICEÑO** Teléfono: **3118667013**

PROGRAMA: **USUARIO EXTERNO AGUA** Dirección: **Palacio Municipal Buenavista**

Municipio de muestreo: **BUENA VISTA**

Fecha Muestreo: **2014-09-13** Corrección de muestreo: **RAUL FREYO** N° de muestras: **2**

Recepción: **2014-09-13** Reporte: **2014-09-17** **JENNY RICO** Plan de muestreo No. **175**

IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S):

Muestra N°: **3185-14** FUENTE: PTA PMA DEL MUNICIPIO DE BUENA VISTA Muestra N°: **3195-14** FUENTE: PTA PMA DEL MUNICIPIO DE BUENA VISTA Muestra N°: **3196-14** FUENTE: PTA PMA DEL MUNICIPIO DE BUENA VISTA

El muestreo se realizó con base en el procedimiento de Toma y preservación de muestras de aguas de CA-POE 27 del Laboratorio Ambiental

### RESULTADOS ANALISIS AGUA

N°	PARÁMETRO	UNIDADES	Método Analítico (Ref. Standard Methods Edition 21)	Fecha Análisis	LCT / LCM	LIMITE NORMATIVO*	MUESTRAS N°		
							3185-14	3195-14	
1	Aloes y Oreas	mg Ag/L	Extracción Soxhlet (5520 D)	2014-09-20	LCT	> 90% retención	<LCM	48.5	
10	Cloruros*	mg Cl / L	Argentométrico Titulación Potenciométrica (4500 C- D)	2014-09-14	LCM	2.0	140 +/- 1.00	165 +/- 1.00	
13	Conductividad de campo*	µS / cm	Electrométrico, SM 2510 B	2014-09-13	LCM	0.8	9851	772	
16	DBO*	mg O <sub>2</sub> / L	Incubado a 5 días a 20°C en Botellas de BOD (5210 B, 4300 C-G)	2014-09-14	LCM	2.0	> 80% retención	4780 +/- 340	2550 +/- 184
19	DOO*	mg O <sub>2</sub> / L	Reflejo Cercado - Colorimétrico, SM 5220 D	2014-09-14	LCM	20.0	1033	16-1260	4474 +/- 802
25	Fenoles	mg Fenol/L	Colorimétrico directo (5530 D) 4-aminowolastina	2014-09-20	LCT	0.01	0.050		2.302
27	Fósforo Total*	mg P/L	Digestión Ácido - Acido Ascorbico, SM 4500 P B	2014-09-20	LFM	0.060	1.675 +/- 0.15	26.232 +/- 2.33	
28	N Amomiacal	mg N NH <sub>3</sub> / L	colorimétrico Nessler (4110 B- 338, 10)	2014-09-19	LCM	0.70	1.93 +/- 0.08	4.50 +/- 19.00	
31	N Nitrito	mg N NO <sub>2</sub> / L	Colorimétrico Ácido Cromotrópico (1810 D - 64 16)	2014-09-15	LCT	0.10	<LCM		0.147
34	Oxígeno Disuelto en campo*	mg O <sub>2</sub> / L	Electrodo de membrana (2010 C- 4)	2014-09-13	LCM	0.8	8.9		4.6
36	pH en campo*	Unidades	Electrométrico (4000 H-)	2014-09-13	LCM	5.5-8.5	7.10		7.90
38	Sólidos Sedimentables*	mg SS / L	Volúmetrico - Cuenca (2010 B- 204)	2014-09-13	LCM	1.0	20.0 +/- 0.09	10.0 +/- 0.09	14.000 +/- 0.001
39	Sólidos Suspendedos*	mg SST / L	Gravimétrico - Secado a 103-105 °C, SM 2540 D	2014-09-29	LCM	4.0	> 80% retención	760 +/- 5.00	400 +/- 2.00
44	Sulfuro*	mg S / L	Fotométrico, SM 4500-S-2 F - Sin Filtración	2014-09-14	LCM	2.0	1.0	<LCM	9.3 +/- 0.90
46	Surfactantes*	mg SAAM / L	Surfactantes Aniónicos por el Método de Papeo Centroso, NEN-ISO-16252 (CFA) (50 16205-2005 (21))	2014-09-15	LCM	0.40	<LCM		0.65 +/- 0.14
48	Conformes Totales*	NMP / 100 ml	Ensayo de sustrato enzimático, SM 9223 B	2014-09-16	LCM	<1	2.3E+05		5.2E+05
49	E. coli*	NMP / 100 ml	Ensayo de sustrato enzimático, SM 9223 B	2014-09-16	LCM	<1	8.5E+04		2.0E+05
60	Amonio*	µg N / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	3.00	500	<LCM	<LCM
63	Boro	µg B / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	3.00	5000	78.94	6.20
71	Cadmio*	µg Cd / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-18	LCM	1.00	100	<LCM	<LCM
75	Cobre	µg Cu / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	10.00	3000	12.67	<LCM
84	Hierro	mg Fe / L (ppm)	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire - Asaflorico, SM 3030 F, 3111 B	2014-09-21	LCM	0.60	4.82 +/- 0.29	2.30 +/- 0.19	
93	Mercurio*	µg Hg / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	3.00	20	<LCM	<LCM
96	Níquel	µg Ni / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	3.00	2500	<LCM	4.28
100	Piata*	µg Pb / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	2.00	500	<LCM	<LCM
102	Plomo*	µg Pb / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	10.00	500	<LCM	<LCM
106	Selenio	µg Se / L (ppb)	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopia de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICPMS), SM 3030 E, 3125 B	2014-09-19	LCM	5.00	500	<LCM	<LCM

\* Parámetros analizados según resolución ES/08 N° 243 10 de Septiembre de 2011, N° 004 18 de diciembre de 2008, N° 014 10 de junio de 2008, N° 025 12 febrero 2010, N° 2307 10 de Diciembre de 2010, N° 176 08 de mayo de 2012 y N° 3134 13 de Diciembre de 2013

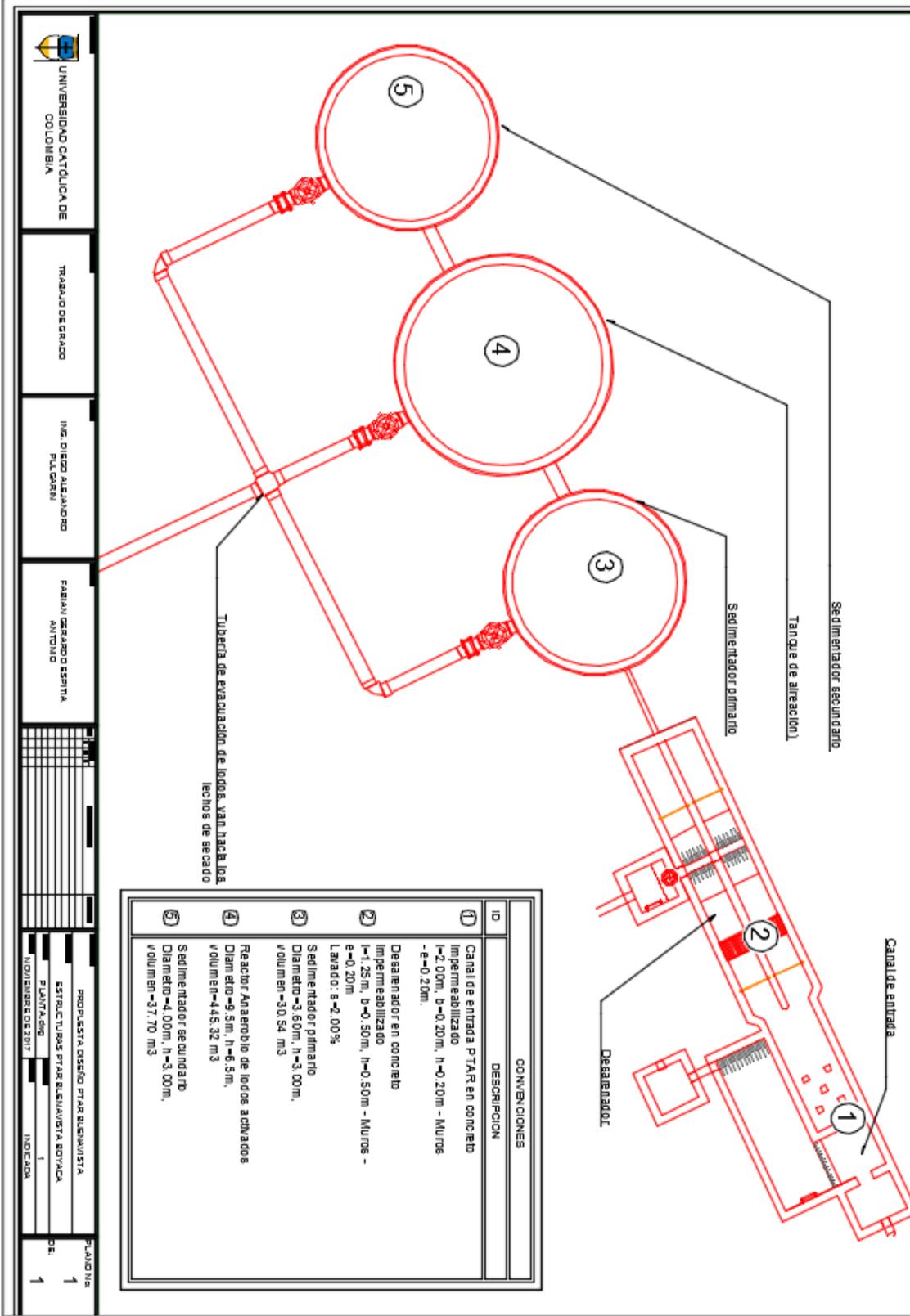
NR No Representativo  
LCT Límite Cuantificación teórico  
LCM Límite Cuantificación

Nombre de la estación

Depto: 1568 84, Ministerio de Agricultura Acuicultura 12 y 74 para agua residual, vertimientos y cuerpos de agua

CONDICIONES AMBIENTALES DE CAMPO			MUESTRAS N°	
UNIDADES	LIMITE PERMISIVO	3185-14	3195-14	
Temperatura	25	21.0	21.0	
pH	6.5-8.5	7.10	7.90	
Conductividad	1500	9851	772	

# ANEXO 6. PLANOS PROPUESTA DE DISEÑO PTAR QUEBRADA LAS BRUJAS BUENAVISTA BOYACA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA

TRABAJO DE GRADO

ING. DIEGO ALCANTARA PALACIEN

FABIAN ESPARDO ESPINOSA ANTONIO

PROPUESTA DE DISEÑO PTAR QUEBRADA LAS BRUJAS BUENAVISTA BOYACA

PLANO N° 1