

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS,  
CON UNA ALTERNATIVA BIOLÓGICA COMPUESTA POR UN HUMEDAL  
ARTIFICIAL EN EL CONJUNTO CERRADO HACIENDA REAL, PIEDECUESTA,  
SANTANDER**

**MARYORI KATHERINE GÜIZA RUBIANO CÓDIGO 27.984.685**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2016**

**MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS,  
CON UNA ALTERNATIVA BIOLÓGICA COMPUESTA POR UN HUMEDAL  
ARTIFICIAL EN EL CONJUNTO CERRADO HACIENDA REAL, PIEDECUESTA,  
SANTANDER**

**MARYORI KATHERINE GÜIZA RUBIANO CÓDIGO 27.984.685**

**Proyecto de grado aplicado para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**DIRECTORA:  
JANETH BIBIANA GARCÍA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2016**

## **DEDICATORIA**

*Le doy gracias a Dios por darme la inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para ejercer este trabajo de grado, culminado con mucho esfuerzo pero también con mucho amor.*

*A mis padres por todo su apoyo, comprensión y confianza, por ser el impulso para llevar a cabo este proyecto.*

**MARYORI KATHERINE GÜIZA RUBIANO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD por darnos la oportunidad de ampliar académicamente nuestros conocimientos y obtener un título profesional.

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental, quienes con sus conocimientos y orientaciones aportaron para el logro de la meta deseada.

Al Director del Trabajo Ingeniera Janeth Bibiana García por su disposición y colaboración para culminar este proyecto.

Muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
3 JUSTIFICACIÓN .....	3
4. OBJETIVO GENERAL.....	5
4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
5. MARCO TEORICO.....	6
5.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	6
5.2 ANTECEDENTES.....	13
6.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA .....	16
6.2 FASE 1: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTES DEL CONJUNTO RESIDENCIAL HACIENDA REAL.....	17
6.2.1 Parámetros de laboratorio. ....	22
6.2.1.5 Caudales.....	29
6.2.1.6 Concentraciones y remociones.....	32
6.2.1.7 Determinación de cargas de DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos y Grasas y Aceites. ....	34
6.3 FASE 2: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	41
6.3.1 Descripción técnica del actual sistema de tratamiento del agua residual desde la entrada en la planta hasta su salida.....	41
6.3.2 Levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico). ....	47
6.3.3 Determinación de los análisis técnicos de diseño y operativos.....	48
6.4 FASE 3: GENERAR EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA BIOLÓGICA COMPUESTA POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. ....	50
6.4.1 Se propuso alternativas de mejora para el sistema de tratamiento en cada una de sus etapas. ....	50
6.4.1.1 Cribado.....	51
6.4.1.2 Difusores de burbuja de membrana de burbuja fina. ....	53
6.4.2 Alternativa Biológica de Tratamiento terciario de las aguas residuales, características de diseño....	55
6.4.2.1 Cálculos de diseño para el humedal.....	57
6.4.2.2 Vegetación. ....	59
6.4.2.3 Mantenimiento del humedal artificial. ....	61
6.4.2.4 Controles. ....	61
6.5 FASE 4: EVALUAR LA EFICIENCIA Y EL COSTO DE LAS MODIFICACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO INCLUIDAS LAS ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PROPUESTAS..	62
CONCLUSIONES .....	66
BIBLIOGRAFIA .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 1 Sistema de Flujo.....	12
Gráfica 2 Sistema de Flujo Subsuperficial.....	13
Gráfica 3 Mapa ubicación geografía.....	16
Gráfica 4 Toma de muestras y composición .....	18
Gráfica 5 Toma de parámetros In-situ .....	18
Gráfica 6 Cono imhoff parámetro Sólidos sedimentables .....	19
Gráfica 7 Preservación de muestras .....	19
Gráfica 8 Formato parámetros In-situ Laboratorio PSL PRO ANÁLISIS .....	21
Gráfica 9 Comportamiento de la temperatura (Afluente) .....	22
Gráfica 10 Comportamiento de la temperatura (Efluente).....	23
Gráfica 11 Comportamiento del pH (Afluente) .....	24
Gráfica 12 Comportamiento del pH (Efluente).....	25
Gráfica 13 Concentración oxígeno disuelto (Afluente) .....	27
Gráfica 14 Concentración oxígeno disuelto (Efluente).....	27
Gráfica 15 Promedio del caudal Afluente día.....	30
Gráfica 16 Promedio del caudal Afluente noche .....	30
Gráfica 17 Promedio caudal Efluente día .....	31
Gráfica 18 Promedio caudal Efluente noche.....	31
Gráfica 19 Cargas DQO día. ....	37
Gráfica 20 Cargas DQO noche. ....	37
Gráfica 21 Cargas Sólidos Suspendidos día. ....	38
Gráfica 22 Carga Sólidos Suspendidos noche. ....	38
Gráfica 23 Carga de DBO5 día. ....	39
Gráfica 24 Carga de DBO5 noche. ....	39
Gráfica 25 Cargas Grasas y Aceites día.....	40
Gráfica 26 Carga Grasas y Aceite noche. ....	40
Gráfica 27 Mapa conceptual actual sistema de tratamiento.....	41
Gráfica 28 Cribado.....	42
Gráfica 29 Tanque dosificador.....	43
Gráfica 30 Tratamiento secundario.....	44
Gráfica 31 Sedimentador .....	46
Gráfica 32 Disposición final .....	46
Gráfica 33 Toma de medidas con el teodolito. ....	47
Gráfica 34 Plano ubicación estructuras AUTOCAD .....	48
Gráfica 35 Diseño de cribado .....	53
Gráfica 36 Difusor de membrana de burbuja fina.....	54
Gráfica 37 Sistema de agua Subsuperficial.....	56
Gráfica 38. Plantas Acuáticas emergentes para humedales .....	60
Gráfica 39. Plantas Acuáticas emergentes Juncos .....	60

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre diferentes sistemas de flujo en el humedal .....	15
Tabla 2 Método analítico STANDAR METHODS .....	20
Tabla 3 Registro del pH (Afluente).....	23
Tabla 4. Registro del pH (Efluente) .....	25
Tabla 5 Concentración oxígeno disuelto.....	26
Tabla 6. Concentración sólidos sedimentables .....	28
Tabla 7 Datos registrados de la conductividad. ....	29
Tabla 8 Concentraciones y remociones día.....	32
Tabla 9. Concentraciones y remociones noche .....	33
Tabla 10. Carga Orgánica Afluente y Efluente DQO, DBO5, SS. ....	34
Tabla 11. Carga Orgánica Afluente y Efluente de Grasas y Aceites. ....	34
Tabla 12. Carga Orgánica Afluente y Efluente de DQO, DBO5, SS.....	35
Tabla 13. Carga Orgánica afluente y efluente de Grasas y Aceites. ....	35
Tabla 14. Carga Orgánica afluente y efluente de DQO, DBO5, SS. ....	35
Tabla 15. Carga Orgánica afluente y efluente de Grasas y Aceites. ....	36
Tabla 17 Parámetros técnicos de diseño del sistema aerobio .....	48
Tabla 18 Parámetros de operación sistema anaerobio .....	49
Tabla 19 Parámetros operativos sistema de tratamiento combinado aeróbio-anaerobio .....	49
Tabla 20 Rejillas de barras.....	51
Tabla 21 Características típicas del medio para humedales de flujo sub-superficial.....	56
Tabla 22. Parámetros de diseño .....	57
Tabla 23 Plantas acuáticas emergentes utilizadas en el tratamiento de aguas residuales en PPM.....	60
Tabla 24 Remoción de parámetros.....	65

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 1 .....	69
Anexo 2 Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 2 .....	70
Anexo 3 Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 3 .....	71
Anexo 4 Plano de Estructuras actuales de diseño de la PTARD Conjunto Cerrado Hacienda Real .....	72
Anexo 5 Plano levantamiento topográfico (Planimétrico y Altimétrico) .....	73

## RESUMEN

**TÍTULO:** MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS, CON UNA ALTERNATIVA BIOLÓGICA COMPUESTA POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN EL CONJUNTO CERRADO HACIENDA REAL, PIEDECUESTA, SANTANDER.

**AUTOR:** Maryori Katherine Güiza Rubiano

**PALABRAS CLAVES:** Mejoramiento, Optimización, Parámetros fisicoquímicos, Agua residual, Valoración de alternativas, Caudal.

### CONTENIDO:

El presente proyecto de grado consiste en realizar un mejoramiento del Proceso de Tratamiento de las aguas servidas, con una alternativa biológica compuesta por un humedal artificial en el Conjunto Cerrado Hacienda Real ubicado en el municipio de Piedecuesta-Santander. Inicialmente la planta fue diseñada con un tratamiento preliminar, primario y secundario, sin embargo este proceso de tratamiento ha ido fallando con el tiempo y no es eficiente en la reducción de las cargas contaminantes, presentando así un incumplimiento en la normatividad ambiental vigente.

El propósito de este proyecto consistente en mejorar las características del vertimiento disminuyendo la carga contaminante del agua residual, cumpliendo así con la normatividad legal vigente y minimizando el impacto negativo, aplicando una alternativa biológica o tratamiento terciario.

La metodología utilizada en esta investigación fue basada en fases donde en la primera se realizó un diagnóstico de las actuales condiciones por medio de un análisis de los parámetros

fisicoquímicos del agua, así mismo se hizo una descripción técnica del actual sistema de tratamiento del agua residual desde la entrada en la planta hasta su salida, donde se incluye un levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico). Por último se evaluó la alternativa biológica compuesta por el Humedal artificial, identificando el análisis de costos, los diseños para las mejoras de tratamiento.

De esta forma, el principal aporte de este trabajo es mejorar el conocimiento que se tiene sobre los tratamientos terciarios en especial el humedal artificial siendo un complemento en el tratamiento primario y secundario, ayudando a la minimización de las cargas contaminantes por sus características, contribuyendo en la eliminación de parámetros como sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno, Fosforo, Coliformes Fecales, proporcionando una adición valiosa a espacio verde, incluyendo la incorporación de hábitat de vida silvestre.

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPROVING THE PROCESS OF SEWAGE TREATMENT WITH A BIOLOGICAL ALTERNATIVE CONSISTING OF A CONSTRUCTED WETLAND CLOSED SET IN FINANCE REAL, PIEDECUESTA, SANTANDER.

**AUTHOR:** Maryori Katherine Güiza Rubiano

**KEYWORDS:** Improvement, Optimization, physicochemical parameters, Wastewater, assessment of alternatives, Flow.

### CONTENT:

This graduation project is to conduct a process improvement of sewage treatment with a biological alternative consisting of an artificial wetland in Gated Hacienda Real in the municipality of Piedecuesta-Santander. Initially the plant was designed with a preliminary, primary and secondary treatment, however this treatment process has gone missing over time and is not efficient in reducing pollutant loads, thus presenting a non-compliance with current environmental regulations.

The purpose of this project which is to improve the characteristics of the dumping decreasing the pollution load of waste water, complying with current legal regulations and minimizing the negative impact, applying a biological alternative or tertiary treatment.

The methodology used in this research was based on stages where a diagnosis of current conditions was carried out through an analysis of the physicochemical parameters of the water in the first, also a technical description of the current system of wastewater treatment was made from the entrance on the ground until departure, where a surveying (planimetric and altimetric) is

included. Finally biological alternative consisting of the artificial wetland, identifying cost analysis, designs for improvements to treatment was assessed.

Thus, the main contribution of this work is to improve the knowledge we have about the tertiary treatment especially artificial wetland as a complement to the primary and secondary treatment, helping to minimize pollution loads due to its characteristics, contributing the elimination of parameters such as total suspended solids, BOD5, nitrogen, phosphorus, fecal coliforms, providing a valuable addition to green space, including the incorporation of wildlife habitat.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En este trabajo de grado se mostró el desarrollo de diferentes opciones de tratamiento para el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas (PTARD) del conjunto cerrado Hacienda Real, ubicado en el municipio de Piedecuesta del departamento de Santander, las cuales beneficiaran a los habitantes del conjunto en aspectos económicos, sociales y ambientales, cada una de estas alternativas cuentan con un presupuesto y diseños de las nuevas estructuras planteadas. Permitiendo así contribuir a la disminución de impacto ambiental como consecuencia de las descargas del vertimiento al suelo, afectando las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo, evitando sanciones por parte de la autoridad ambiental en el incumplimiento de la normatividad en materia de vertimientos.

Igualmente se evaluaron los parámetros más importantes contemplados en el Decreto 1594 de 1984, del agua que ingresa y sale de la PTARD. Los resultados arrojados en los análisis de laboratorio muestra la necesidad de revisar alternativas que fueron planteadas en el presente trabajo para mejorar el tratamiento y poder reducir notoriamente las cargas que están siendo vertidas.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha venido intensificando una problemática ambiental basada en la contaminación del recurso hídrico y en el recurso suelo, generado por las aguas residuales domésticas, producida como consecuencia al crecimiento indiscriminado y la alta demanda de nuevos complejos habitacionales, en diferentes áreas dentro de las ciudades y fuera de ellas, y que exige de una acción inmediata por parte de los entes ambientales

Actualmente el servicio de alcantarillado para el Conjunto Cerrado Hacienda Real, es prestado por la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas administrado por el mismo. Pero la falta de mantenimiento ha ocasionado un incumplimiento en la remoción exigidos en la normatividad ambiental y en los parámetros fisicoquímicos dados por la CDMB Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, inicialmente la planta fue diseñada con un tratamiento preliminar, primario y secundario, sin embargo este proceso de tratamiento ha ido fallando con el tiempo y no es eficiente en la reducción de las cargas contaminantes, evidenciado en monitoreos previos realizados por el conjunto. Las altas concentraciones de parámetros como materia orgánica, producen un elevado porcentaje de fosfatos en los cuerpos de agua y en el suelo. Ocasionando un rápido crecimiento en la población de algas y una alteración de los nutrientes del suelo.

Para mejorar y disminuir esta problemática se propone en este trabajo de grado la mejora en el proceso de tratamiento de las aguas servidas, aplicando una alternativa biológica o tratamiento terciario que contribuya a obtener un agua residual con menor carga contaminante cumpliendo con la normatividad ambiental y disminuyendo el impacto al suelo.

¿En qué medida la alternativa biológica y las mejoras para los diferentes procesos de la planta de tratamiento del Conjunto Residencial serán efectivas y ayudará en la disminución de su problemática?

### 3. JUSTIFICACIÓN

El deterioro de las fuentes hídricas y la contaminación del suelo a través de los años en las zonas urbanas y rurales, por parte de los conjuntos residenciales y viviendas en general, ha tenido una leve disminución, gracias a las exigencias de la autoridad ambiental en los últimos años siendo más rigurosos en cuanto al tratamiento de las aguas residuales y una adecuada disposición final para generar un mínimo impacto al medio ambiente, pero es ciertamente que se debe ampliar la cobertura de tratamiento de estas aguas.

Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno). En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los métodos de tratamiento de las aguas residuales el cual consiste en tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de sólidos como arena, el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno.

Hace 8 años el Conjunto Cerrado Hacienda Real ubicado en Piedecuesta, construyó una pequeña planta de tratamiento para dar solución a las aguas residuales producidas por sus habitantes, pero debido al incremento poblacional que ha tenido en los últimos años y la falta de mantenimiento por parte de la administración no está cumpliendo con lo exigido por la normatividad; por tal problemática se requiere un rediseño en su sistema de tratamiento, en este trabajo de grado se proporcionara alternativas de mejoramiento tanto para el tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o biológico, los cuales conllevaran a mejorar la eficacia y eficiencia dentro de la planta; cumpliendo así con lo exigido por la autoridad ambiental.

La importancia de esta investigación radica en dar una solución a esta problemática ambiental, generando beneficios para la población afectada por los olores ofensivos característicos de los procesos anaerobios, para la eliminación de los vectores que se crean por las descargas sin control del efluente.

## **4. OBJETIVO GENERAL**

- Mejorar el proceso de tratamiento de las aguas servidas, con una alternativa biológica compuesta por un humedal artificial en el Conjunto cerrado Hacienda Real, Piedecuesta, Santander.

### **4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento.
- Evaluar el sistema y criterios actuales de diseño del tratamiento de las aguas residuales como tiempo de retención hidráulica, volumen, caudal y estado de las estructuras.
- Generar el diseño de la alternativa biológica compuesta por un Humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales.
- Evaluar la eficiencia y el costo de las modificaciones del sistema de tratamiento incluidas las alternativas biológicas propuestas.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodos biológicamente activo, que seguidamente es filtrado y el tratamiento terciario donde se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del Nitrógeno, métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costos operativos de una planta de tratamiento.

El tratamiento de las aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua de uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o lodo (también llamado bio-sólido) convenientes para su disposición o reúso.

Las aguas residuales son provenientes de tocadores, baños, regaderas o duchas, cocinas, etc.; que son desechados a las alcantarillas o cloacas. En muchas áreas, las aguas residuales también incluyen algunas aguas contaminadas provenientes de industrias y comercios. La división del agua doméstica es drenada en aguas grises y aguas negras, siendo más común en el mundo desarrollado, el agua negra procede de inodoros y orinales, el agua gris procedente de piletas y bañeras, puede ser usada en riego de plantas y reciclada en el uso de inodoros, donde se transforma en agua negra. (Romero, 2004)

A continuación se describe el Procesos para el tratamiento del agua en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

**1. Pre-tratamiento.** En toda planta de tratamiento de efluentes resulta necesaria la existencia de un tratamiento previo o pre-tratamiento que elimine del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores.

Con el pre-tratamiento se elimina parte de sólidos más visible: cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada. Una línea de pre-tratamiento convencional consta de las etapas de desbaste, desarenado y desengrasado. El desarenado se lleva a cabo mediante rejillas formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada para la estación de tratamiento. La misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores.

**2. Tratamiento Primario.** Se entiende por tratamiento primario a aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pre-tratamiento.

Igualmente es necesario en algunos tratamientos los tanques de homogenización, que consisten en un gran depósito de aguas residuales donde se busca homogeneizar el flujo entrante, tanto en caudal como en composición. Dicho tanque asegura la entrada en la estación depuradora de un caudal constante, amortizando las variaciones de caudal durante el tiempo.

- **Tanques de dosificación.** Las variaciones horarias del gasto de agua residual pueden tener un efecto adverso en el funcionamiento de los procesos de la planta; el cambio constante de la cantidad y concentración del agua residual a ser tratada propicia que la operación eficiente de los procesos sea difícil.

El tanque homogeneización, tiene como función amortiguar las variaciones de las descargas de aguas residuales con el fin de tratar un gasto uniforme. La igualación se puede usar también para amortiguar las variaciones del pH y concentración de constituyentes tóxicos presentes en el agua residual a tratar. La igualación del gasto no es proceso de tratamiento, pero puede mejorar

significativamente el funcionamiento de una planta existente e incrementar su capacidad útil. (Soberanes, 2008).

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los lodos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, inmensos, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los lodos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

Otros procesos de tratamiento primario incluyen las trampas de grasas que consisten en un tanque pequeño o caja cubierta, provista de una entrada sumergida y de una tubería de salida que parte cerca del fondo. Tiene como objeto interceptar las grasas y jabones presentes en las aguas residuales provenientes de cocinas y lavaderos. El funcionamiento de la trampa de grasas se basa en el principio que el agua residual que va entrando es más caliente que en el tanque, y se enfría al llegar a este, lo cual hace que la grasa se solidifique y flote sobre la superficie, en donde se extrae periódicamente para ser dispuesta adecuadamente en un sitio determinado.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90% de las materias decantables y el 65% de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35%. (Calvo, 2007).

Los sistemas de aireación también son parte de los tratamientos primarios los cuales consisten en airear de manera forzada o con suministro de oxígeno. Se puede realizar de dos formas: por medio de aireadores superficiales o por difusores de inyección de aire. En ambos casos se está suministrando aire, una mezcla de oxígeno y nitrógeno. El oxígeno es metabolizado por la biomasa y el nitrógeno entra y sale sin ningún cambio químico, solo tiene efectos de agitación en la masa de agua que es aireada.

Los aireadores superficiales con turbina o un agitador que gira sobre la superficie del líquido, generan un efecto de remolino y gran turbulencia, produciéndose una gran cantidad de pequeñas

gotas de agua, con lo cual se favorece la transferencia de aire hacia la fase acuosa. La teoría de la transferencia de masa de una fase gaseosa a una fase líquida, establece, entre otros factores, que cuanto mayor sea el área superficial de contacto, mayor es la eficiencia en transferencia.

Otra forma de suministrar aire, es por medio de difusores de burbuja. En este sistema, el aire es aspirado del medio ambiente, comprimido y conducido por tubería hasta los difusores, donde el aire es burbujeado continuamente en el reactor aerobio, para mantener la concentración de oxígeno disuelto en un valor de 1-2 mg/L. Los difusores de burbuja pueden ser de tres tipos: de burbuja gruesa, de burbuja mediana y de burbuja fina.

Desde el punto de vista de transferencia de masa, los difusores de burbuja fina son los más adecuados para aprovechar más eficientemente el oxígeno suministrado, las pequeñas burbujas producidas en este difusor transfieren más eficientemente el oxígeno requerido en el metabolismo aerobio.

El problema con los difusores de burbuja fina, es que fácilmente se tapan por la formación de sarro y otros depósitos, en los poros del difusor, así como por la introducción de polvo y otras partículas en el aire que se inyecta, se requiere de una previa filtración del aire suministrado y de un mantenimiento más frecuente en los difusores. Los difusores de burbuja mediana y gruesa, no tienen este problema, pero la burbuja producida es más grande, por lo que la eficiencia en transferencia de oxígeno es mucho menor que en los difusores de burbuja fina.

**3. Tratamiento Secundario.** Los tratamientos secundarios son procesos biológicos, donde su finalidad es la reducción de la materia orgánica biodegradable del agua residual, se efectúa por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que se mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios. Las aguas con alta carga orgánica se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria.

Los tratamientos biológicos engloban tanto el proceso de reacciones biológicas, como la posterior separación de los lodos por decantación. Entre las variables a controlar en estos

procesos se encuentran la temperatura en anaerobios esencialmente, oxígeno disuelto, pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones. (Calvo, 2007).

**4. Tratamientos terciarios avanzados.** Este tipo de proceso implica un tratamiento terciario y posteriormente una serie de tratamientos que tienen como finalidad el elevar la calidad del agua hasta alcanzar y a veces sobrepasar las normas de calidad de aguas potables.

Las aguas con tratamiento terciario contienen un residual de DBO que es necesario disminuir a un valor de cero. También, los procesos de tratamiento que se dan al agua tienen como finalidad el remover las trazas de metales tóxicos y de sustancias orgánicas que el agua pueda contener, alguno de los procesos que se emplean frecuentemente son:

- **Carbón activado.** Para la remoción por adsorción de compuestos orgánicos. Su gran capacidad adsorbente de compuestos tóxicos lo hace indispensable en el tratamiento y acondicionamiento del agua potable.
- **Osmosis inversa.** Proceso de filtración que implica mecanismos complejos, a través del cual es posible obtener agua de la máxima pureza, por este proceso es posible remover partículas, moléculas y iones que puedan contaminar el agua.
- **Ozonización.** Oxidante poderoso que causa la oxidación de ciertos compuestos que precipitan como hidróxidos. También es posible, con el uso del ozono, el rompimiento de moléculas objetables y su conversión a otras especies químicas menos indeseables.
- **Electrodialisis.** La electrodiálisis es un proceso a través del cual los cationes (cargas positivas) y los aniones (cargas negativas), son atraídos por placas cargadas positivamente o negativamente. El resultado final es una disminución en el contenido de sólidos disueltos, pero su desventaja es que a diferencia de la ósmosis inversa, solo las partículas cargadas son atraídas por los polos cargados y los contaminantes no iónicos, como son ciertos compuestos orgánicos, permanecen en solución acuosa y aparecen en el efluente. (Ingeniería de tratamiento, 2010).
- **Tratamiento De Lodos.** En todo tratamiento de aguas residuales se producen, junto al agua depurada, una serie de lodos que deben ser tratados adecuadamente. Según el tipo de tratamiento y la naturaleza de los contaminantes eliminados, serán lodos de naturaleza

predominantemente inorgánica u orgánica. Los objetivos finales buscados en el tratamiento de los lodos son:

1. Reducción de volumen: Concentración del lodo para hacer más fácil su manejo.
2. Reducción del poder de fermentación: Reducción de materia orgánica y de patógenos, para evitar la producción de olores y la evolución del lodo sin control.

Las principales etapas en el tratamiento de los lodos son: espesamiento (concentración) por decantación o flotación, digestión (estabilización para fangos fermentables), deshidratación y evacuación.

- ✓ **Espesamiento:** Reducción de volumen en tanques de sedimentación o flotación, según la naturaleza del fango. A veces se realiza un acondicionamiento previo, de tipo físico-químico (coagulación floculación) o térmico.
- ✓ **Digestión:** Para fangos de naturaleza orgánica. En procesos de carácter aerobio (similar a fangos activos) o anaerobio (aprovechamiento energético).
- ✓ **Deshidratación y secado:** Con el objetivo de una eliminación lo más completa posible del agua del lodo. Normalmente con una etapa de acondicionamiento previo. Métodos más utilizados: filtros de vacío, filtros prensa, filtros banda, centrífugas, evaporación térmica o en lechos de secado.
- ✓ **Evacuación:** Depósito o destino final de los lodos. Métodos principales: vertedero de seguridad o de residuos sólidos urbanos según sus características; incineración con o sin adición de combustible adicional según el poder calorífico de los lodos, se generan cenizas, escorias y gases que necesitan tratamiento, con o sin recuperación de energía; compostaje, descomposición biológica controlada, de la materia orgánica, en condiciones aerobias, con el fin de obtener “compost” (abono orgánico. (Analiza Calidad Asesores Ltda., 2009)

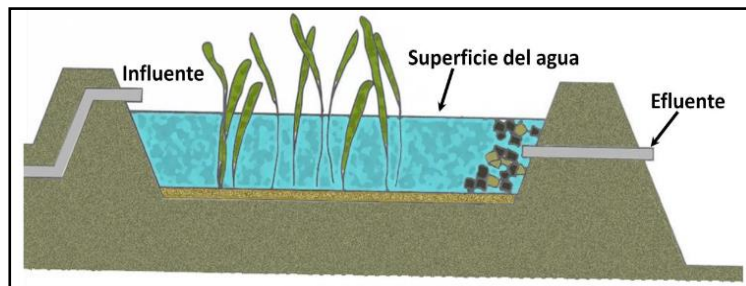
**5. Tratamiento terciario biológico.** Una alternativa de tratamiento que está siendo poco a poco más conocida por sus bajos costos de instalación y operación, son los denominados humedales artificiales. Este tipo de sistemas es usado en un 0.6 por ciento del total de las plantas de tratamiento instaladas:

Los humedales son tierras donde el agua cubre el suelo o está presente ya sea en o cerca de la superficie del suelo durante todo el año o para diferentes partes del año, incluso durante la temporada de crecimiento. La cantidad de saturación de agua (hidrología) es el principal factor

determinante de la forma en que el suelo desarrolla y los tipos de plantas y animales que viven en comunidades y en el suelo. (Americarum Universitas, 2005).

Los humedales naturales o artificiales, son sistemas de tratamiento acuático en los cuales se usan plantas y animales para el tratamiento de las aguas residuales. Los humedales artificiales son de superficie libre de agua, es decir, con espejo de agua; o de flujo subsuperficial sin espejo de agua. Los humedales artificiales se han usado en el tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario y avanzado, en el tratamiento de aguas de irrigación, para tratar lixiviados de rellenos sanitarios, en el tratamiento de residuos de tanques sépticos y para otros propósitos como desarrollar hábitats para crecimientos de valor ambiental.

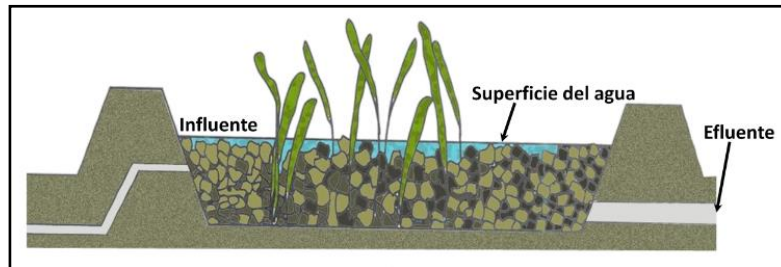
*Gráfica 1 Sistema de Flujo*



Fuente. Fundamentos del tratamiento biológico.

Humedales de flujo subsuperficial, en este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0,45 a 1m y con pendiente de 0 a 0,5%. En contraste con los humedales de flujo superficial o con espejo de agua, los humedales artificiales de flujo subsuperficial tienen menores requerimientos de área y carecen de problemas de olores y de mosquitos. Como desventaja, sin embargo, se tiene un costo mayor por el medio de grava y riesgo de taponamiento. La vegetación es semejante en los humedales con espejo de agua y no se requiere cosechar las plantas.

*Gráfica 2 Sistema de Flujo Subsuperficial*



Fuente. Fundamentos del tratamiento biológico.

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen atractivos para el tratamiento de aguas residuales:

- Fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo.
- Utilizan y transforman la materia orgánica por intermedio de los microorganismos.
- Logran niveles de tratamiento aceptables con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Gracias a estos componentes naturales los humedales artificiales tienen un bajo costo de operación y mantenimiento, también usan mucho menos energía que los tratamientos convencionales. Cabe resaltar que generan menos lodos y proveen un hábitat para ciertas especies, sin embargo este tratamiento tiene un horizonte pequeño, debido a que sólo se puede utilizar para pequeñas comunidades (no mayores a las 20000 habitantes), residencias, pequeños negocios o áreas de descanso, porque de otra manera la extensión de terreno que se requeriría sería considerable. (Americarum Universitas, 2005).

## **5.2 ANTECEDENTES**

En Colombia se han construido humedales de flujo subsuperficial, enfocados primordialmente a la realización de pruebas piloto en el tratamiento de agua residual domesticas con caudales y poblaciones de diseño relativamente pequeñas.

En Cogua, en el departamento de Cundinamarca, la Universidad Javeriana construyó en el 2004, un humedal piloto de flujo subsuperficial precedido de un tanque séptico prefabricado. El humedal manejó un caudal promedio de 1,34 m<sup>3</sup>/d y un afluente esperada en DBO<sub>5</sub> de 132 mg/L y un efluente de 44 mg/L. El reactor fue una celda de 2 m de ancho por 5,8 m de largo, con una profundidad efectiva de 0,6 m, es decir un área del humedal de 11,6 m<sup>2</sup> con un tiempo de retención hidráulica de 1,6 días y una carga hidráulica de 0,23m/d. Obteniendo con el sistema remociones promedio de DBO<sub>5</sub> entre el 66 y el 80 %, de nitrógeno total entre el 30 y el 70 %, para el fósforo alrededor del 28 %, en sólidos suspendidos totales entre el 44 y el 90 %. (Borrero J., 2004).

En la ciudad de Bogotá, la Universidad Nacional ha trabajado un prototipo de humedal artificial de configuración simple y eficiente denominado “HUMEDAR” cuya configuración involucra un reactor anaerobio de compartimientos paralelos de flujo a pistón, seguido de un humedal artificial de alta tasa conformado por macrófitas nativas y comunes soportadas sobre sustrato de material plástico reciclado con un diseño especial de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de superficie específica. Este prototipo tiene la particularidad como se menciona, de usar como lecho filtrante un medio de soporte plástico de forma esfero elipsoidal de múltiples planos con porosidad del 94% (Sanabria, O. 2009), que fue desarrollado para satisfacer los requerimientos de gran superficie específica del elemento para el crecimiento de biopelícula.

El sistema ya se encuentra en funcionamiento a escala real en diversas poblaciones e instituciones del país con diferentes condiciones topográficas y climáticas, habiéndose comprobado su funcionalidad y eficiencia en la depuración de contaminantes de aguas residuales urbanas. En la evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante esta tecnología, instalado en la locación petrolera Caño Gandul en el departamento de Casanare, se lograron eficiencias de remoción de la DBO<sub>5</sub> para el humedal en promedio un 45%, de SST

obtuvo una eficiencia de remoción en promedio del 92.5 % con un tiempo de retención hidráulico promedio de 2.77 d. (Otálora, 2011).

**Tabla 1 Comparación entre diferentes sistemas de flujo en el humedal**

	<b>FLUJO SUPERFICIAL</b>	<b>FLUJO SUBSUPERFICIAL</b>
<b>Tratamiento</b>	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera.	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques IMHOFF, pozos sépticos.
<b>Operación</b>	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica
<b>Olor</b>	Puede ser controlado	No existe
<b>Insectos</b>	Control es caro	No existe
<b>Protección térmica</b>	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
<b>Área</b>	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
<b>Costo</b>	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar hasta un 30%
<b>Valor ecosistema</b>	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna
<b>Usos generales</b>	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes
<b>Operación</b>	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente. Delgadillo, O., et ál 2010.

## 1. DESARROLLO METODOLOGICO

La iniciativa del proyecto investigativo surge de la necesidad de dar solución a la problemática ambiental que presenta el Conjunto Cerrado Hacienda Real, para lo cual se desarrolló una determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua residual, una evaluación de la situación actual del proceso de tratamiento, se generó el diseño de la alternativa biológica compuesta por el Humedal Artificial y se evaluó la eficiencia, el costo de las modificaciones del sistema de tratamiento propuestas.

### 6.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA

Este proyecto se desarrollará en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Conjunto Residencial Hacienda Real, localizada en la margen derecha de la vía Piedecuesta-Bucaramanga, la planta se ubica en el municipio de Piedecuesta, constituida por cincuenta y dos (52) viviendas unifamiliares totalmente terminadas.

*Gráfica 3 Mapa ubicación geografía*



Fuente: Programa de Información Geográfica Google Earth 2015

Piedecuesta es un municipio del departamento de Santander. Se encuentra a 17 km de Bucaramanga, formando parte de su área metropolitana. Su extensión territorial es de 344 kilómetros cuadrados; su geografía ofrece un sinnúmero de valles, mesetas, montañas y colinas, accidentes territoriales que presentan una variada climatología, pasando del radiante sol de pescadero a la neblina del páramo de Juan Rodríguez. El municipio limita por el Norte con Tona, Floridablanca y Bucaramanga; por el Sur con Guaca, Cepitá, Aratoca y Los Santos; por el Oriente con Santa Bárbara; por el Occidente con Girón.

Por su ubicación en la Cordillera Oriental, Piedecuesta es un municipio productor de agua. En el páramo de Juan Rodríguez (Berlín) nacen los ríos de Oro, río Frío, río Hato (o Lato), río Manco y río Umpalá (Aguaclara), así como doce quebradas. El río de Oro y sus afluentes es tema de interés de las Ciencias Naturales de Piedecuesta al ser fuente de agua potable, regadíos, extracción de arena y traslado de aguas negras del Municipio. (Pinzón, 2012).

## **6.2 FASE 1: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTES DEL CONJUNTO RESIDENCIAL HACIENDA REAL.**

Para la determinación de parámetros fisicoquímicos del agua residual en el Conjunto Residencial Hacienda Real se realizaron tres (3) monitoreos en las siguientes fechas: 9 de Octubre, 2 de Noviembre y 16 de Diciembre, con el fin de ser más representativos los datos, se recolectaron muestras por un periodo de tiempo de veinticuatro (24) horas en el afluente y efluente de la planta, realizándose una composición cada doce (12) horas, de muestras puntuales tomadas cada dos (2) horas, en horas pares.

*Gráfica 4 Toma de muestras y composición*



Fuente. El autor.

Este equipo multiparamétrico de campo tiene la capacidad de tomar los datos In-situ: como el pH, la temperatura y el OD.

*Gráfica 5 Toma de parámetros In-situ*



Fuente. El autor.

El cono de Imhoff es un recipiente graduado con paredes transparentes de forma cónica, con capacidad para 1 litro. Se introdujo en uno de los conos un litro de agua de la entrada del tratamiento y en el otro se introduce 1 litro del agua de la salida del sistema. Se deja reposar durante 45 minutos, luego se lee, en la escala graduada, los volúmenes de sedimento.

*Gráfica 6 Cono imhoff parámetro Sólidos sedimentables*



Fuente. El autor.

Para la preservación de las muestras se utilizó hielo, para mantener una temperatura de 4 °C, dentro de la caba.

*Gráfica 7 Preservación de muestras*



Fuente. El autor.

Para la toma de los parámetros In-situ y al igual que para los de laboratorio (la DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales) se llevó a cabo el método analítico normalizado por STANDAR METHODS for examination of water and wastewater.

**Tabla 2 Método analítico STANDAR METHODS**

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>METODO USADO</b>
<b>pH</b>	Unid de pH	STANDARD METHODS 4500 H+ B, Ed. 20/1998
<b>OD</b>	mg O <sub>2</sub> /L	STANDARD METHODS 4500- O C- Ed. 20/1998
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	STANDARD METHODS 5220 C Ed. 20/1998
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg DBO <sub>5</sub> /L	STANDARD METHODS 5210 B DBO <sub>5</sub> Ed. 20/1998
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	STANDARD METHODS 5520 B Partición gravimétrico - 20/1998
<b>Sólidos Suspendidos totales</b>	mg/L	STANDARD METHODS 2540 D Ed. 20/1998
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	STANDARD METHODS 9221 E Fermentación de los tubos múltiples- Ed. 20/1998

Fuente. STANDARD METHODS, 1998

Para el registro de los datos de campo se utilizó el formato proporcionado por el laboratorio PSL PRO ANÁLISIS, en el cual se registraron los parámetros tomados In-situ entre ellos el pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Sólidos Sedimentables y medición del caudal. (Ver Grafica 8 Formato parámetros In-Situ).

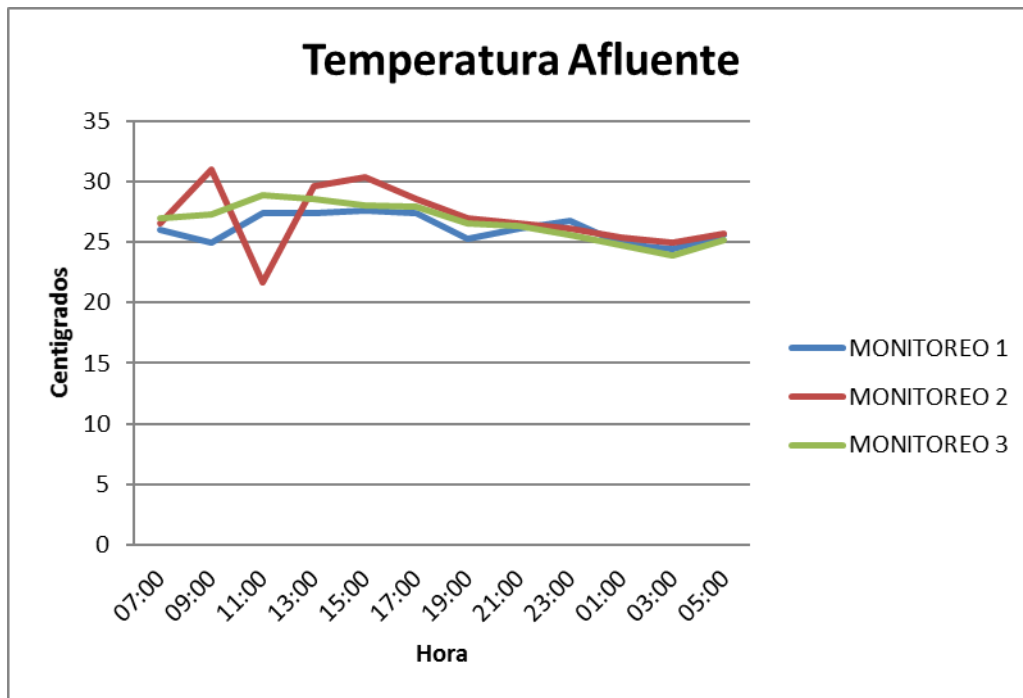
Las muestras fueron conducidas hasta el laboratorio PSL PRO ANÁLISIS para su recepción y análisis. Una vez conocidos los resultados de cada uno de los monitoreos, se compararon con la normatividad para comprobar el grado de cumplimiento con respecto los valores para cada uno de los parámetros exigidos.



## 6.2.1 Parámetros de laboratorio.

**6.2.1.1 Determinación de temperatura.** Regularmente la temperatura de las aguas residuales es mayor al suministro local, por la adición de agua tibia proveniente de las casas e industrias, y también es mayor que la temperatura del aire. Los principales efectos de la temperatura en las aguas residuales es la alteración de las velocidades de reacción, afectación a los microorganismos participantes en el proceso, alteración de la vida acuática.

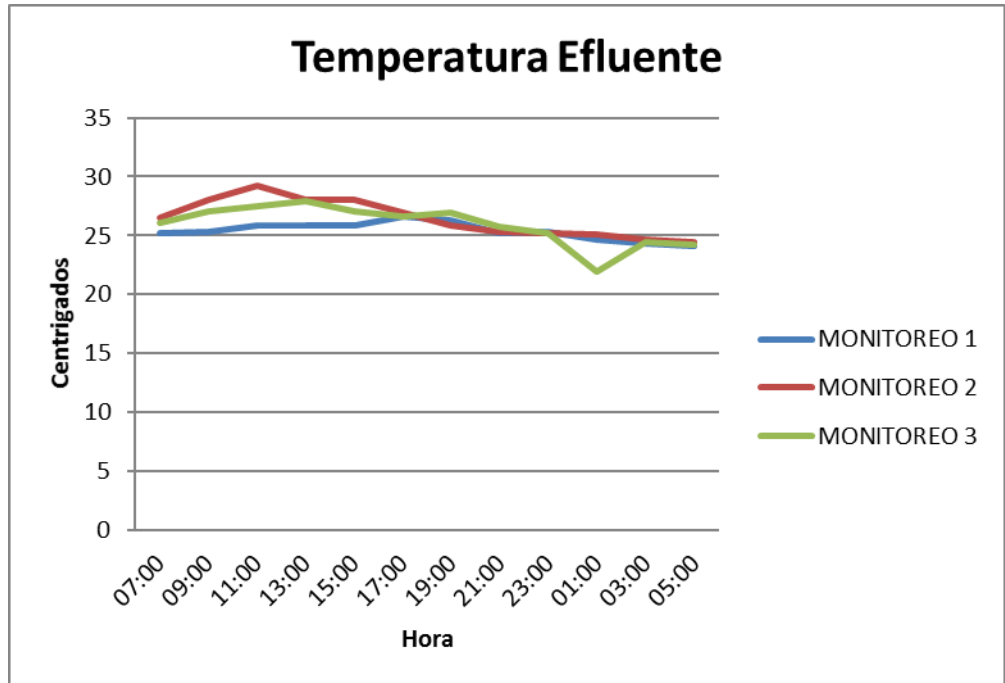
*Gráfica 9 Comportamiento de la temperatura (Afluente)*



Fuente. El autor.

Como se puede ver en la gráfica 9 del comportamiento de la temperatura en el afluente para los 3 monitoreos realizados, se muestran unos picos altos en horas del día, esto se debe a presentarse en horas donde los habitantes hacen descargas al sistema de aguas cálidas provenientes de la cocina y de la limpieza del jacuzzi, lo que puede alterar las reacciones de los microorganismos en el sistema.

*Gráfica 10 Comportamiento de la temperatura (Efluente)*



Fuente. El autor.

El comportamiento de la temperatura en el efluente para cada uno de los monitoreos, se puede ver en la gráfica 10 donde se mantuvo constante, lo cual representaría que el efluente no genera un impacto negativo al momento de ser vertido al suelo, encontrándose dentro del rango de la normatividad.

**6.2.1.2 Determinación de pH.** Es una medida de la concentración de iones hidrogeno, de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua, es importante para permitir el tratamiento secundario.

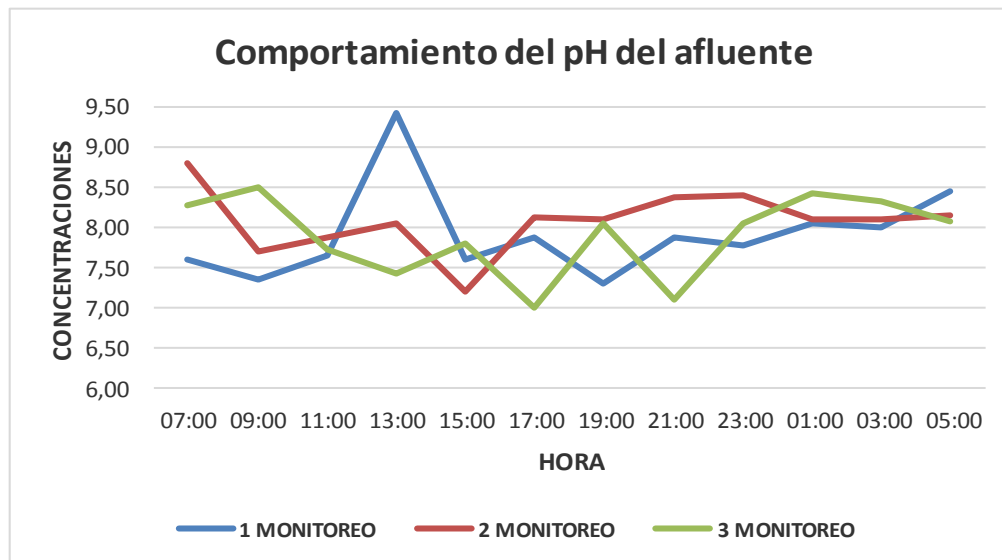
*Tabla 3 Registro del pH (Afluente)*

pH AFLUENTE			
HORA	MONITOREO 1	MONITOREO 2	MONITOREO 3
07:00	7,59	8,80	8,27
09:00	7,36	7,70	8,51
11:00	7,66	7,88	7,72

<b>13:00</b>	9,43	8,05	7,43
<b>15:00</b>	7,60	7,21	7,79
<b>17:00</b>	7,87	8,12	6,99
<b>19:00</b>	7,29	8,09	8,05
<b>21:00</b>	7,87	8,37	7,09
<b>23:00</b>	7,77	8,39	8,05
<b>01:00</b>	8,05	8,10	8,43
<b>03:00</b>	8,01	8,09	8,32
<b>05:00</b>	8,44	8,14	8,07

Fuente. El autor.

*Gráfica 11 Comportamiento del pH (Afluente)*



Fuente. El autor.

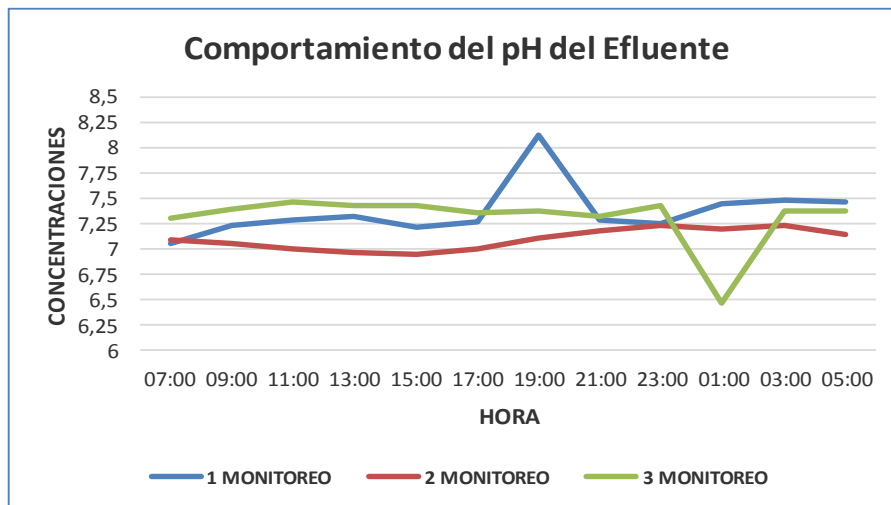
En la gráfica 11 se puede ver que el comportamiento de pH en el Afluente, muestra alteraciones en cuando a su valor, mostrando picos más altos en horas de 7:00 a.m, 11:00 am, 13:00 p.m y 19:00 pm, esto se debe a estar representado en horas donde los habitantes realizan mayores descargas al sistema realizando actividades de aseo personal, lavado de vehículos, uso de productos químicos para la limpieza, lo que hace que la actividad biológica que se desarrolla en este rango de pH superiores a 8,5 se torne alcalino y sea menor, afectando los microorganismos que se desarrollan en condiciones óptimas de pH.

**Tabla 4. Registro del pH (Efluente)**

pH EFLUENTE			
HORA	MONITOREO 1	MONITOREO 2	MONITOREO 3
07:00	7,06	7,09	7,3
09:00	7,24	7,05	7,39
11:00	7,29	7	7,47
13:00	7,32	6,96	7,42
15:00	7,22	6,94	7,43
17:00	7,26	7	7,36
19:00	8,13	7,11	7,38
21:00	7,28	7,18	7,32
23:00	7,25	7,23	7,42
01:00	7,45	7,2	6,46
03:00	7,48	7,23	7,38
05:00	7,46	7,14	7,37

Fuente. El autor.

**Gráfica 12 Comportamiento del pH (Efluente)**



Fuente. El autor.

El comportamiento del pH en el efluente se mantiene constante en la mayoría de las horas entre los monitoreos realizados, aunque se puede ver en la gráfica 12, que hubo un pico alto entre las

19:00 p.m del monitoreo #2, el cual pudo presentarse por descargas que se hicieron al sistema y que haya afectado las reacciones de los microorganismos.

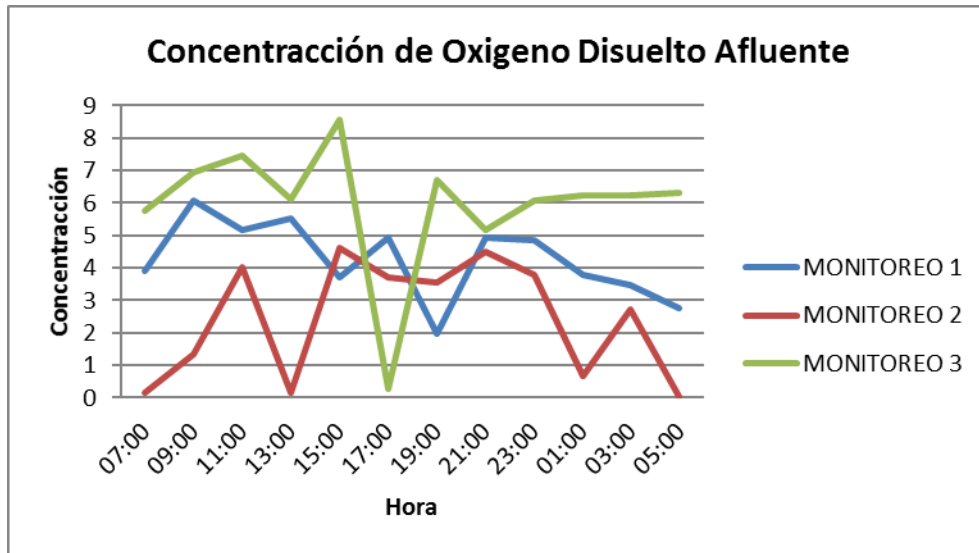
**6.2.1.3 Determinación de oxígeno disuelto.** El Oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aeróbicos, así como para otras formas de vida aeróbica. La cantidad de oxígeno que puede estar presente en el agua es regida por varios factores tales como la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura, la salinidad, los sólidos en suspensión.

*Tabla 5 Concentración oxígeno disuelto*

CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO (mg/L)						
HORA	MONITOREO 1		MONITOREO 2		MONITOREO 3	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
07:00	3,91	1,24	0,14	2,39	5,77	0,07
09:00	6,09	1,28	1,33	1,62	6,93	0,07
11:00	5,17	2,02	4,01	1,6	7,44	0,04
13:00	5,53	2,33	0,17	1,75	6,1	0,08
15:00	3,71	1,37	4,6	1,38	8,55	0,06
17:00	4,95	1,34	3,69	2,09	0,26	0,03
19:00	1,98	4,29	3,54	3,46	6,69	7,61
21:00	4,95	1,79	4,48	4,37	5,15	1,23
23:00	4,84	1,96	3,79	3,53	6,08	0,57
01:00	3,78	2,43	0,67	2,9	6,23	0,03
03:00	3,47	2,8	2,73	3,28	6,23	0,52
05:00	2,77	2,44	0,05	2,76	6,32	0,03

Fuente. El autor.

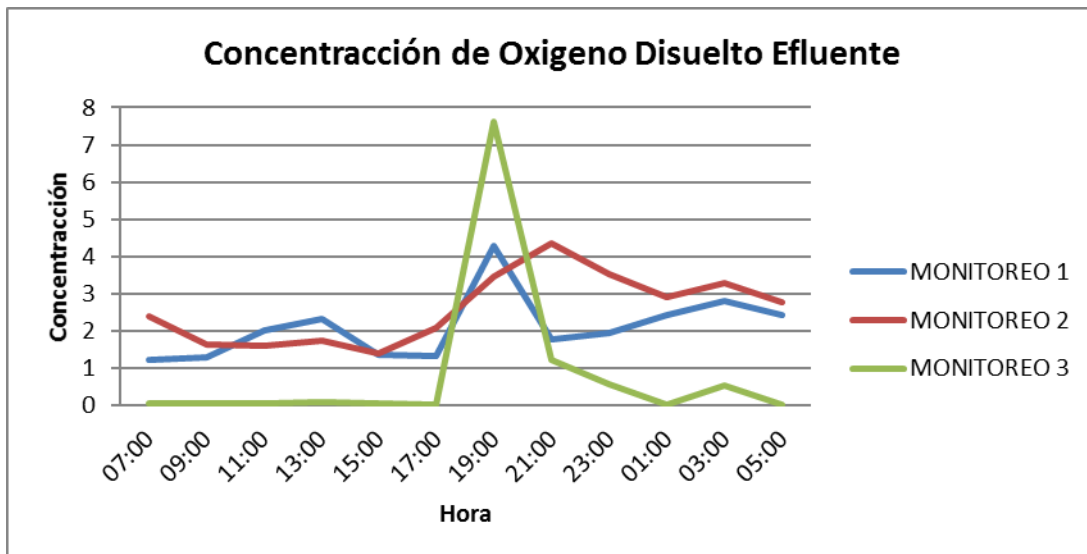
**Gráfica 13 Concentración oxígeno disuelto (Afluente)**



Fuente. El autor.

El oxígeno disuelto tanto para el afluente (gráfica 13) como en el efluente (gráfica 14) es necesario para la vida de los organismos aerobios, la presencia del oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua residual, este parámetro dependerá igualmente de factores como la temperatura, sólidos suspendidos y solubilidad del gas.

**Gráfica 14 Concentración oxígeno disuelto (Efluente)**



Fuente. El autor.

Es importante destacar que los picos más altos se presentan en el monitoreo #3 tanto en el afluente (gráfica 13) como en el efluente (gráfica 14), puesto que la planta se encontraba colmatada por falta de mantenimiento y los difusores de aire no se encontraban en funcionamiento, alterando las reacciones de las bacterias en el sistema secundario, no cumpliendo con los requerimientos de la normatividad legal.

**6.2.1.4 Determinación de sólidos sedimentables.** Están formados por las partículas más densas del agua, que se mantienen dispuestas dentro ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón, sedimentan rápidamente por acción de la gravedad, cuando la masa de agua se mantiene en reposo. Cuando mayor es la turbulencia del agua mayor es su contenido en sólidos sedimentables y mayor también, el tamaño y la densidad de las partículas que son arrastradas por el agua.

**Tabla 6. Concentración sólidos sedimentables**

CONCENTRACIONES DE SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/L)						
HORA	MONITOREO 1		MONITOREO 2		MONITOREO 3	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
07:00	20	<0,1	0,5	0	3	0,7
09:00	3	0,3	4	0,3	2,8	0,7
11:00	3,2	0	3	0,3	3	1,5
13:00	1	<0,1	26	0,2	0,4	1,3
15:00	4,6	0	1	0,3	2,9	2,6
17:00	6,2	0	1	0	4,8	0,8
19:00	5,2	>0,1	1,4	0,8	9	0,5
21:00	0,6	0	1	0,3	3	1,8
23:00	0,2	0	0,3	0,1	0,9	2
01:00	0	0	0	0	0,4	2
03:00	0,1	0	0	0	0,1	2
05:00	0,3	0	1,8	0,3	0,4	1,8

Fuente. El autor.

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por

sedimentación simple; se expresan en mg/L. En la tabla #6 concentración de los sólidos sedimentables, se puede apreciar que los valores reportados para los 2 primeros monitoreos, la planta realizan una buena remoción de este parámetro puesto que el valor de la entrada es mayor al de la salida. En el último monitoreo se puede ver que la salida tiene un aumento de la concentración porque el sistema encontró colmatado y la remoción no cumplió con los parámetros exigidos en la normatividad.

**6.2.1.4 Conductividad.** Depende principalmente de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). En aguas residuales este valor es elevado debido al aumento de la concentración de  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y otros iones. Los valores de la PTARD del Conjunto se reportan en la siguiente Tabla 7.

**Tabla 7 Datos registrados de la conductividad.**

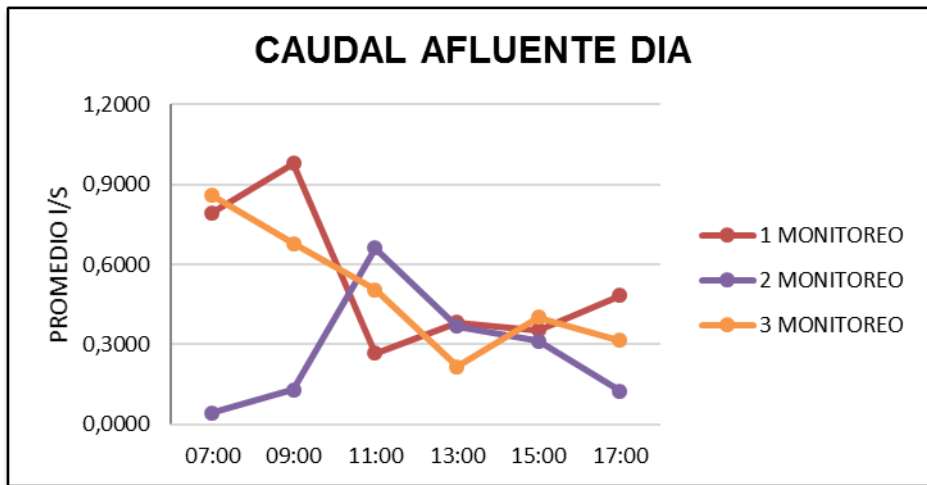
CONDUCTIVIDAD $\mu s/cm$				
	AFLUENTE DÍA	EFLUENTE DÍA	AFLUENTE NOCHE	EFLUENTE NOCHE
<b>Monitoreo 1</b>	578	609	588	600
<b>Monitoreo 2</b>	579	595	715	634
<b>Monitoreo 3</b>	624	689	521	628

Fuente. El Autor

En la tabla #7 se registran los datos de la conductividad, la cual se evaluó la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, como un indicador de la calidad del agua, donde se puede ver que el afluente es menor a los datos reportados en el efluente, estas variaciones se pueden dar por la temperatura y las sales disueltas en el agua la cual afecta la conductividad. Por lo tanto un intervalo elevado de la conductividad en el vertimiento genera en el suelo al que se vierte una inutilización para cultivos.

**6.2.1.5 Caudales.** En las gráficas 15 y 16 se muestran los valores de los muestreos puntuales por monitoreo con el fin de observar las fluctuaciones a lo largo del día en litros por segundo (l/s) del afluente y efluente de la PTARD del Conjunto.

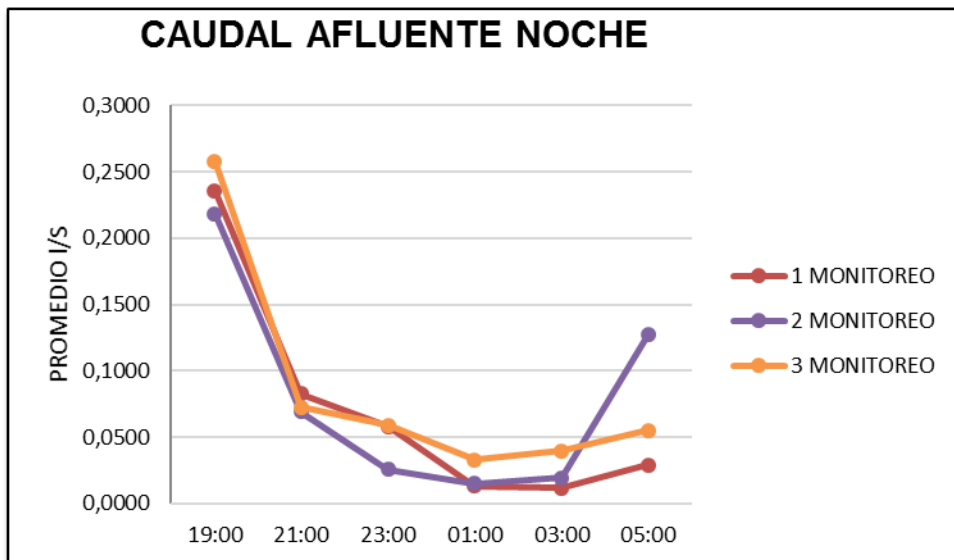
**Gráfica 15 Promedio del caudal Afluyente día**



Fuente. El Autor.

Se puede observar el comportamiento del afluente en los 3 monitoreos donde los picos más altos se muestran en las primeras horas del día, cabe resaltar que eso se debe a los hábitos de las personas del conjunto en cuanto a sus actividades diarias (trabajo, estudio); entre las 5:00 de la tarde y las 7:00 de la noche se nota un pequeño incremento de caudal, puesto que los habitantes regresan a sus casas, aumentando el consumo del recurso. El promedio diario del agua que ingresa a la planta y que se trata en relación con los 3 monitoreos fue de 0,27l/s.

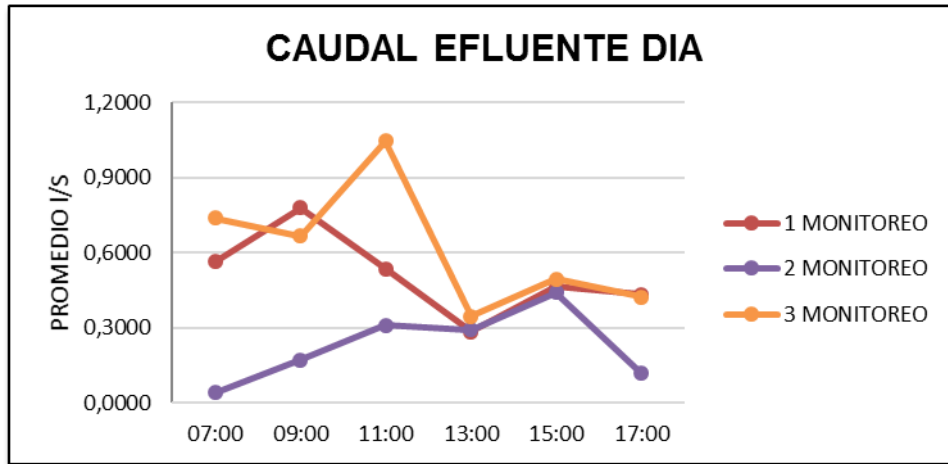
**Gráfica 16 Promedio del caudal Afluyente noche**



Fuente. El Autor.

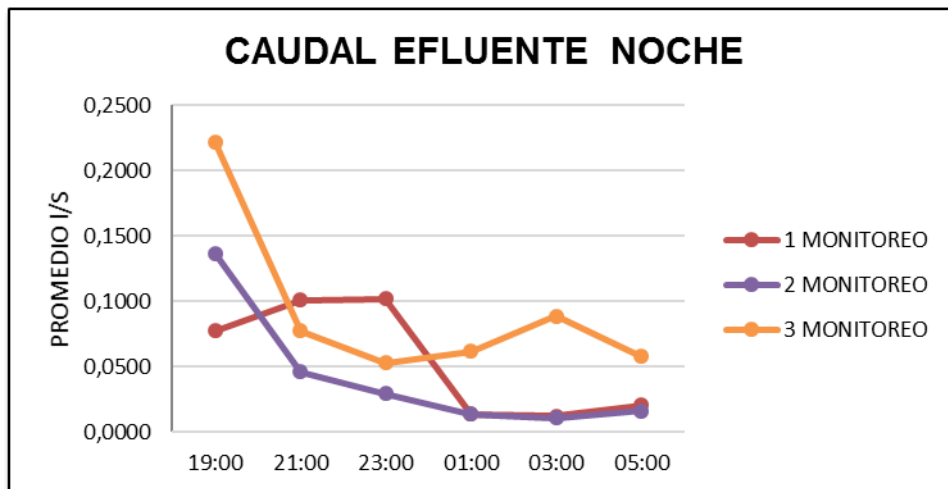
En las Gráficas 17 y 18 se observa el comportamiento del caudal efluente día donde arrojaron caudales variados en cada uno de los monitoreo, registrando los picos más altos en las horas 9:00, 11:00 a.m y 13:00 p.m, mientras en la noche se observó un comportamiento normal presentando los caudales más altos entre las 19:00 y las 21:00 horas.

**Gráfica 17 Promedio caudal Efluente día**



Fuente. El Autor.

**Gráfica 18 Promedio caudal Efluente noche**



Fuente. El Autor.

**6.2.1.6 Concentraciones y remociones.** En la tabla 8 y tabla 9. Se presentan las concentraciones y remociones obtenidas en los puntos evaluados en cada uno de los monitoreos (día y noche), cabe resaltar que las muestras recolectadas en el tercer monitoreo en el efluente presentaban aumento de sólidos.

**Tabla 8 Concentraciones y remociones día**

<b>CONCENTRACIONES Y REMOCIONES DIA</b>				
<b>PARAMETRO</b>	<b>DQO mg/l</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/l</b>	<b>SS mg/l</b>	<b>G y A mg/l</b>
<b>AFLUENTE</b>	732	200	227	234
<b>EFLUENTE</b>	310	135	44	52
<b>REMOCIÓN 1 MONITOREO</b>	<b>58%</b>	<b>33%</b>	<b>81%</b>	<b>78%</b>
<b>AFLUENTE</b>	670	286	300	176
<b>EFLUENTE</b>	304	183	76	43
<b>REMOCIÓN 2 MONITOREO</b>	<b>55%</b>	<b>36%</b>	<b>75%</b>	<b>76%</b>
<b>AFLUENTE</b>	582	175	88	301
<b>EFLUENTE</b>	618	146	96	350
<b>REMOCIÓN 3 MONITOREO</b>	<b>-6%</b>	<b>17%</b>	<b>-9%</b>	<b>-16%</b>

Fuente. El Autor.

**DQO** = Demanda Química de Oxígeno

**DBO<sub>5</sub>** = Demanda Biológica de Oxígeno

**SS** = Sólidos Suspendidos Totales

**G y A** = Grasas y Aceites

**Tabla 9. Concentraciones y remociones noche**

<b>CONCENTRACIONES Y REMOCIONES NOCHE</b>				
<b>PARAMETRO</b>	<b>DQO mg/l</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/l</b>	<b>SS mg/l</b>	<b>G y A mg/l</b>
<b>AFLUENTE</b>	644	120	180	42
<b>EFLUENTE</b>	228	104	52	57
<b>REMOCIÓN 1 MONITOREO</b>	<b>65%</b>	<b>13%</b>	<b>71%</b>	<b>-36%</b>
<b>AFLUENTE</b>	572	104	200	49
<b>EFLUENTE</b>	344	117	96	55
<b>REMOCIÓN 2 MONITOREO</b>	<b>40%</b>	<b>-13%</b>	<b>52%</b>	<b>-12%</b>
<b>AFLUENTE</b>	292	144	28	37
<b>EFLUENTE</b>	546	128	112	75
<b>REMOCIÓN 3 MONITOREO</b>	<b>-87%</b>	<b>11%</b>	<b>-300%</b>	<b>-103%</b>

Fuente. El Autor.

**DQO** = Demanda Química de Oxígeno

**DBO<sub>5</sub>** = Demanda Biológica de Oxígeno

**SS** = Sólidos Suspendidos Totales

**G y A** = Grasas y Aceites

En los datos reportados en la Tabla 8 y 9, se evidencia como las remociones fueron disminuyendo a través de los monitoreos, igualmente se observa que la planta no cumple con lo estipulado en el decreto 1594/84 donde se establece una remoción superior al 80% en estos 5 parámetros (DBO, DQO, SS, G y A), siendo los sólidos suspendidos el parámetro que cumplió en el primer monitoreo. Por lo tanto la planta deberá implementar medidas eficientes para dar cumplimiento a lo exigido por la autoridad ambiental.

### 6.2.1.7 Determinación de cargas de DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos y Grasas y Aceites.

La carga orgánica de los monitoreos en el afluente y efluente a la planta se reportan en la Tabla 10, 11, 12, 13, 14, 15.

**Tabla 10. Carga Orgánica Afluente y Efluente DQO, DBO5, SS.**

Fecha del monitoreo	9 de Octubre de 2015						
Tipo de muestra	Compuesto						
PUNTO EVALUADO	Q (l/s)	DQO mg/L	CARGA kg/día	SS mg/L	CARGA kg/día	DBO <sub>5</sub> mg/l	CARGA kg/día
Afluente Día	0,544	732	17,188	227	5,330	200	4,696
Efluente Día	0,510	310	6,829	44	0,969	135	2,974
Afluente Noche	0,072	644	1,996	180	0,558	120	0,372
Efluente Noche	0,054	228	0,536	52	0,122	104	0,244

Fuente. El Autor.

**Tabla 11. Carga Orgánica Afluente y Efluente de Grasas y Aceites.**

Fecha del monitoreo	9 de Octubre de 2015		
Tipo de muestra	Compuesto		
PUNTO EVALUADO	Q L/s	G&A mg/L	CARGA kg/día
Afluente Día	0,383	234	3,872
Efluente Día	0,285	52	0,640
Afluente Noche	0,083	42	0,151
Efluente Noche	0,101	57	0,249

Fuente. El Autor.

En la tabla 10 y 11 se puede ver los valores de la carga orgánica arrojados en el monitoreo 1 el cual fue tomado el 9 de octubre de 2015, evaluado para los parámetros exigidos por la normatividad DBO, DQO SS, G y A. Donde se analiza la carga contaminante que es vertida al suelo, presentándose que estos valores no cumplen por lo exigido por la autoridad ambiental.

**Tabla 12. Carga Orgánica Afluente y Efluente de DQO, DBO5, SS.**

Fecha del monitoreo	2 de Noviembre de 2015						
Tipo de muestra	Compuesto						
PUNTO EVALUADO	Q (l/s)	DQO mg/L	CARGA kg/día	SS mg/L	CARGA kg/día	DBO <sub>5</sub> mg/l	CARGA kg/día
Afluente Día	0,275	670	7,945	300	3,558	286	3,392
Efluente Día	0,228	304	3,000	76	0,750	183	1,806
Afluente Noche	0,079	572	1,956	200	0,684	104	0,356
Efluente Noche	0,042	344	0,625	96	0,174	117	0,212

Fuente. El Autor.

**Tabla 13. Carga Orgánica afluente y efluente de Grasas y Aceites.**

Fecha del monitoreo	2 de Noviembre de 2015		
Tipo de muestra	Compuesto		
PUNTO EVALUADO	Q L/s	G&A mg/L	CARGA kg/día
Afluente Día	0,369	90	1,435
Efluente Día	0,293	85	1,076
Afluente Noche	0,026	49	0,055
Efluente Noche	0,029	55	0,069

Fuente. El Autor.

En la tabla 12 y 13 se puede ver los valores de la carga orgánica arrojados en el monitoreo 2 el cual fue tomado el 2 de noviembre de 2015, evaluado para los parámetros exigidos por la normatividad DBO, DQO SS, G y A. Donde se analiza la carga contaminante que es vertida al suelo, presentándose que estos valores no cumplen por lo exigido por la autoridad ambiental.

**Tabla 14. Carga Orgánica afluente y efluente de DQO, DBO5, SS.**

Fecha del monitoreo	16 de Diciembre de 2015						
Tipo de muestra	Compuesto						
PUNTO EVALUADO	Q (l/s)	DQO mg/L	CARGA kg/día	SS mg/L	CARGA kg/día	DBO <sub>5</sub> mg/l	CARGA kg/día
Afluente Día	0,496	582	12,474	88	1,886	175	3,751
Efluente Día	0,619	618	16,526	96	2,567	146	3,904
Afluente Noche	0,086	292	1,088	28	0,104	144	0,536
Efluente Noche	0,093	546	2,205	112	0,452	128	0,517

Fuente. El Autor.

**Tabla 15. Carga Orgánica afluente y efluente de Grasas y Aceites.**

Fecha del monitoreo	16 de Diciembre de 2015		
Tipo de muestra	Compuesto		
PUNTO EVALUADO	Q L/s	G&A mg/L	CARGA kg/día
Afluente Día	0,217	301	2,821
Efluente Día	0,347	350	5,241
Afluente Noche	0,059	37	0,094
Efluente Noche	0,053	75	0,171

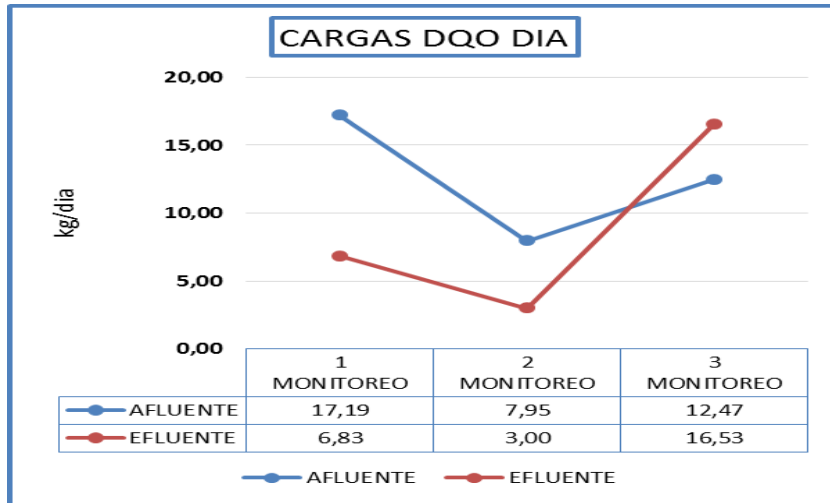
Fuente. El Autor.

En la tabla 14 y 15 se puede ver los valores de la carga orgánica arrojados en el monitoreo 3 el cual fue tomado el 16 de diciembre de 2015, evaluado para los parámetros exigidos por la normatividad DBO, DQO SS, G y A. Donde se analiza la carga contaminante que es vertida al suelo, presentándose que estos valores no cumplen por lo exigido por la autoridad ambiental.

Realizando un promedio de las cargas del muestreo diurno y nocturno en el afluente y efluente se evidencia que en términos de DQO el promedio del afluente fue de 7,11 kg/día y del efluente fue de 4,95 kg/día.; en Grasas y Aceites el promedio del afluente fue de 0.281kg/día y el promedio de efluente fue de 0.248 kg/día; en Sólidos suspendidos el promedio del afluente fue de 0.20kg/día, y el promedio el efluente fue de 0.84 kg/día.

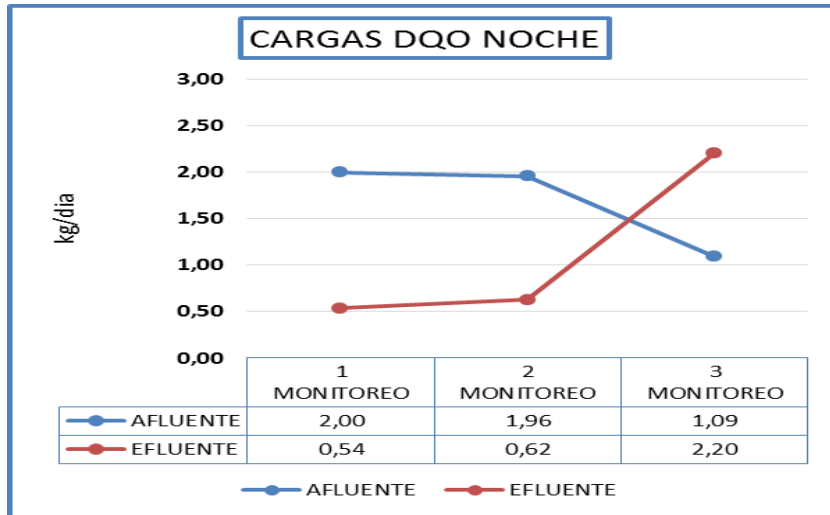
A continuación se muestran las gráficas 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 de los valores arrojados en los diferentes monitoreos para los parámetros de DQO, DBO, SS, G y A, tanto en el día como en la noche. Donde se puede observar el mismo comportamiento para todos los parámetros evaluados (DQO, SS, DBO<sub>5</sub> y G & A) evidenciado las concentraciones más altas en el afluente en relación con el efluente, caso contrario se encontró en el tercer y último monitoreo donde los datos reportados fueron inversos por la alta presencia de sólidos presentados ese día.

**Gráfica 19 Cargas DQO día.**



Fuente. El Autor.

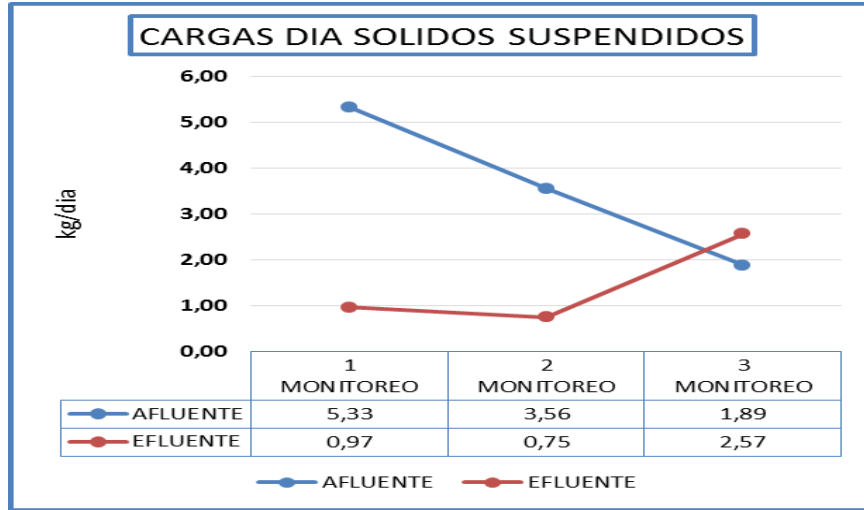
**Gráfica 20 Cargas DQO noche.**



Fuente. El Autor.

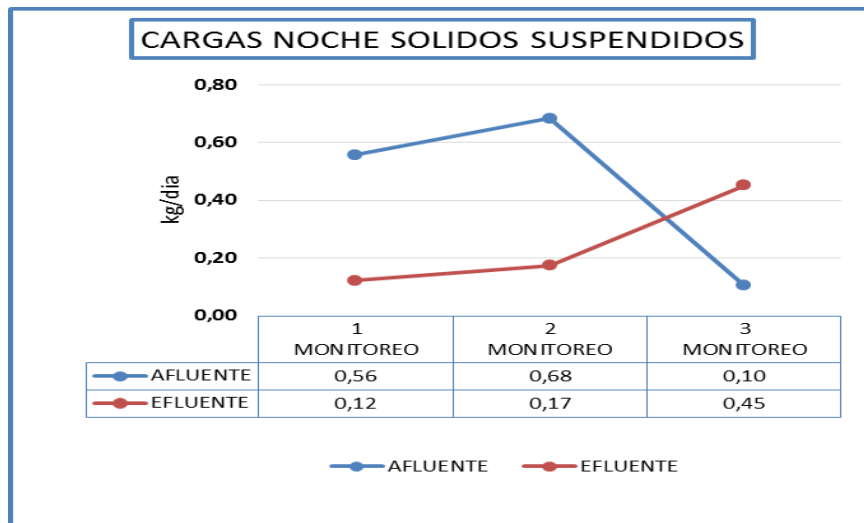
La carga de la Demanda Química de Oxígeno fue evaluada en los tres monitoreos tanto en el día como en la noche, donde se puede ver que la planta no se encuentra en condiciones óptimas para la remoción, donde el monitoreo 1 y 3 reportaron los picos más altos, con esta medida se estima el oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica contenida en el agua residual.

**Gráfica 21 Cargas Sólidos Suspendedos día.**



Fuente. El Autor.

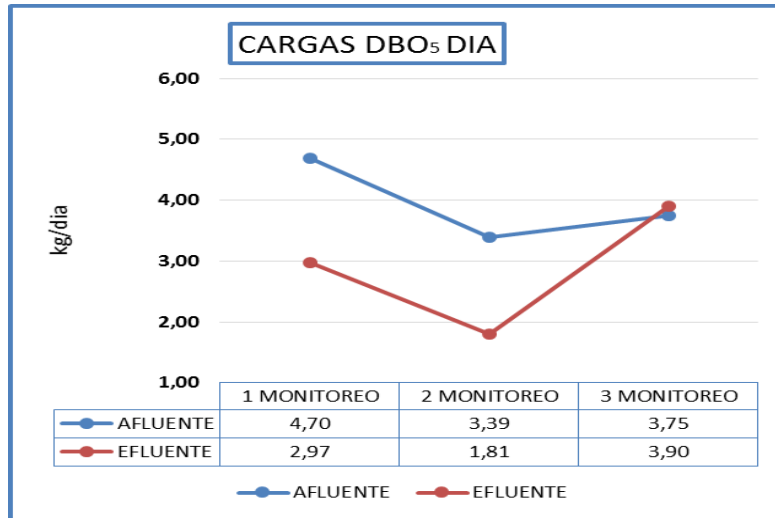
**Gráfica 22 Carga Sólidos Suspendedos noche.**



Fuente. El Autor.

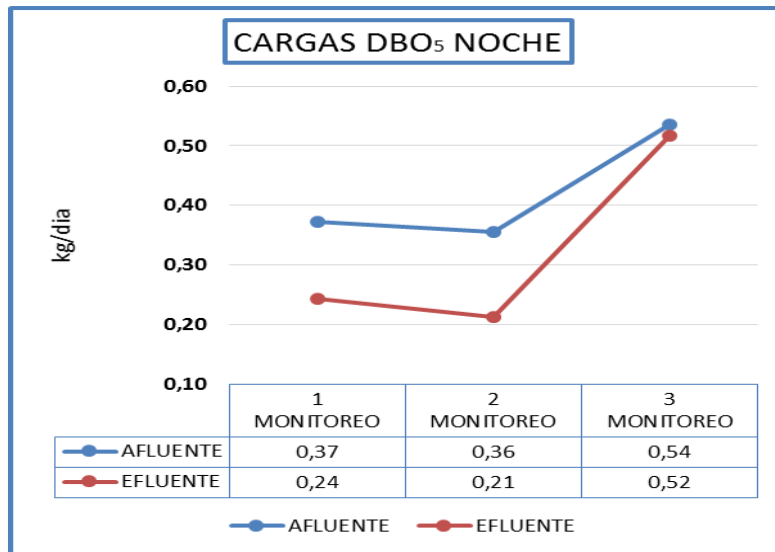
La carga de los sólidos suspendidos fue evaluada en los tres monitoreos tanto en el día como en la noche, donde se puede ver que la planta no se encuentra en condiciones óptimas para la remoción encontrándose valores altos en el monitoreo 3 entre el afluente y el efluente. Esta medida incrementa la turbidez del agua y la de los sólidos disueltos. Estos sólidos en suspensión producen el color aparente en las aguas y disminuyen el paso de radiación solar, estos depósitos de sólidos pueden también pueden acarrear problemas por crear condiciones anaerobias.

**Gráfica 23 Carga de DBO<sub>5</sub> día.**



Fuente. El Autor.

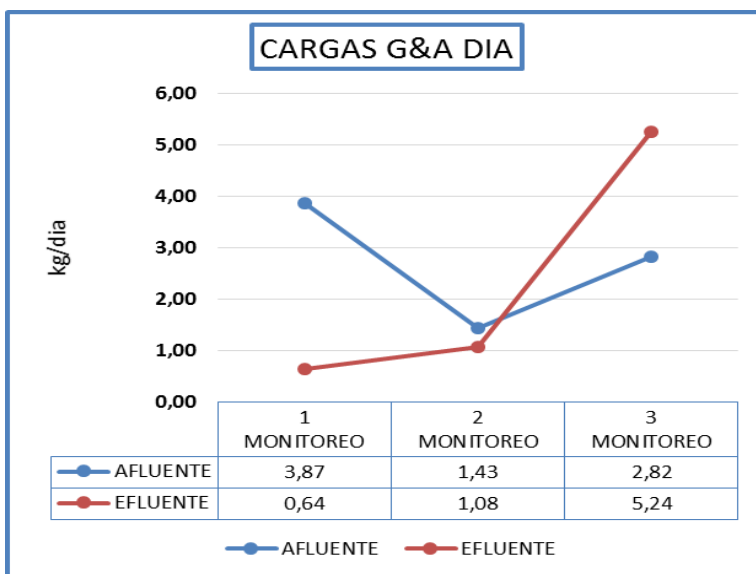
**Gráfica 24 Carga de DBO<sub>5</sub> noche.**



Fuente. El Autor.

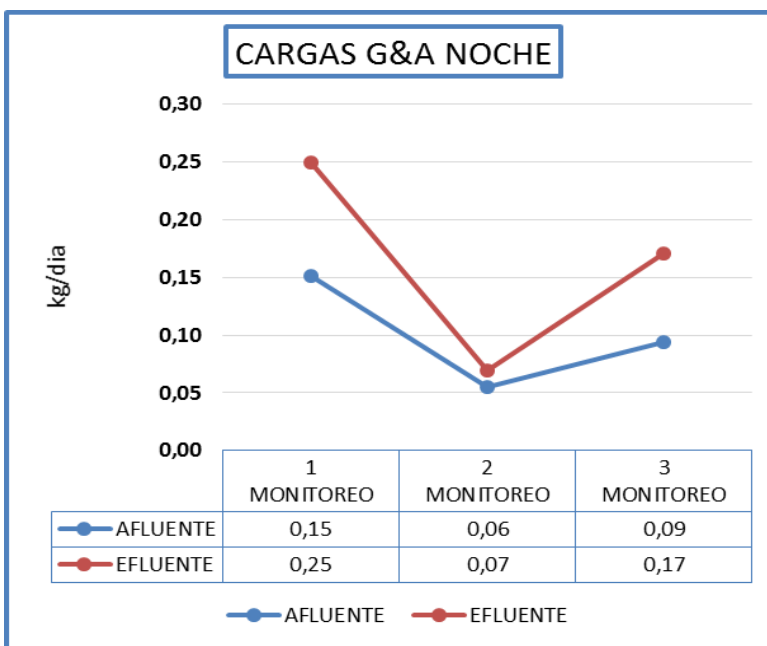
La carga de la Demanda Biológica de Oxígeno cinco fue evaluada en los tres monitoreos tanto en el día como en la noche, donde se puede ver que la planta no se encuentra en condiciones óptimas para la remoción, donde el monitoreo 3 reportaron los picos más altos, con esta medida se cuantifica la cantidad de oxígeno requerido para que las sustancias biodegradables presentes en el agua sean destruidas durante el tiempo de incubación.

**Gráfica 25 Cargas Grasas y Aceites día.**



Fuente. El Autor.

**Gráfica 26 Carga Grasas y Aceite noche.**



Fuente. El Autor.

La carga de Grasas y Aceites fue evaluada en los tres monitoreos tanto en el día como en la noche, donde se puede ver que la planta no se encuentra en condiciones óptimas para la

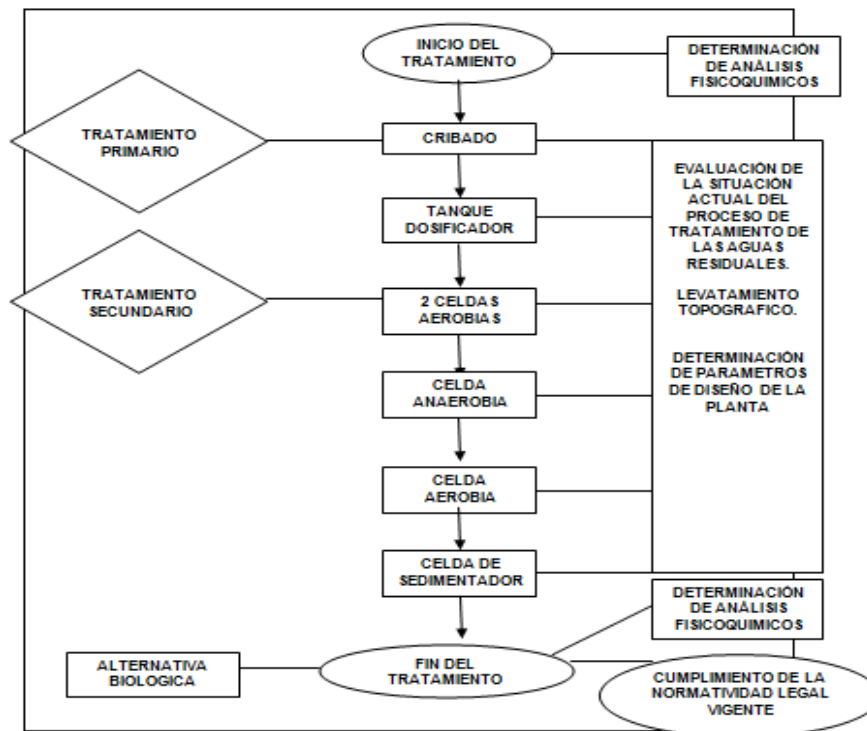
remoción, con esta medida se debe tener mayor atención por la escasa solubilidad que tienen en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa, este residuo se separa del agua residual en forma de nata dentro del tanque de sedimentación, por lo tanto es arrastrado en su mayoría con los sólidos sedimentables pero se evidencia en el monitoreo 3, que la planta no realiza un buen tratamiento para la reducción de este parámetro por encontrarse colmatada esto por falta de mantenimiento.

### 6.3 FASE 2: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

#### 6.3.1 Descripción técnica del actual sistema de tratamiento del agua residual desde la entrada en la planta hasta su salida.

A continuación se muestra un mapa conceptual del actual sistema de tratamiento en la PTARD:

*Gráfica 27 Mapa conceptual actual sistema de tratamiento*



Fuente. El autor.

**6.3.1.1 Cribado.** El agua ingresa inicialmente a un cribado como primer proceso a que es sometida el agua residual. El cual cumple con una remoción de sólidos gruesos como papeles, plásticos, madera, cabellos, residuos de comida, toallas, entre otros residuos de mayor tamaño. Tales materiales son atrapados en una malla plástica (Diamante) con aberturas de 3/16"; La PTARD está dotada de dos cribados fabricados en tubería PVC y Malla Diamante, uno estará en operación mientras el otro permanecerá en receso para efectos de lavado y dispuesto para entrar en funcionamiento. El propósito fundamental del cribado es proteger las bombas y los otros equipos electromecánicos, prevenir el atascamiento de válvulas. Tiene unas dimensiones de 1.50 por 1.80 y una profundidad 3 metros.

*Gráfica 28 Cribado*



Fuente. El autor.

Actualmente este sistema preliminar no funciona correctamente, pues el cribado deja pasar la totalidad de sólidos a la siguiente etapa del tratamiento.

**6.3.1.2 Tanque dosificador.** Después de haber pasado el agua por el cribado, se almacena en el tanque dosificador, donde se encuentra flotando superficialmente un dispositivo hidráulico el cual cumple la función de dosificación, fabricado en PVC, dicho elemento mantiene un flujo (Caudal) del efluente constante durante las 24 horas del día, pero dicho dispositivo no se encuentra en funcionamiento por falta de mantenimiento. Este tanque posee dos tuberías de

salida; la primera a través del dosificador de caudal, de donde se envía el agua al sistema de tratamiento secundario y la segunda salida en D= 4” la cual funciona como control de excesos, tiene una profundidad de 2.93 m, 1.20 m por dentro y 1.80 m por fuera.

*Gráfica 29 Tanque dosificador*



Fuente. El autor.

**6.3.1.3 Sistema Secundario.** El proceso secundario actúa como una suspensión de microorganismos en el agua residual y un medio fijo. El sistema aerobio, es parte del tratamiento secundario, es un proceso biológico que utiliza las reacciones metabólicas de microorganismos para obtener un efluente de calidad aceptable, removiendo las sustancias que ejercen una demanda de oxígeno.

La materia orgánica sirve como fuente de carbón y energía para el crecimiento biológico y es convertida en tejido celular biológico y en productos finales oxidados, principalmente  $\text{CO}_2$ . Al contenido del reactor se le denomina “Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado (SSLM)” y consiste principalmente de microorganismos y materia inerte suspendida y no biodegradable.

*Gráfica 30 Tratamiento secundario*



Fuente. El autor.

La fracción orgánica celular del proceso aerobio se representa generalmente como  $C_5H_7NO_2$ . Cuando los SSLM se descargan del reactor se necesita un medio para separarlos del agua residual tratada. Lo que generalmente se usa es un tanque de sedimentación por gravedad. Los sólidos biológicos concentrados se reciclan de nuevo al reactor para mantener una población microbológica concentrada a fin de degradar el agua residual.

Este sistema está formado por las siguientes estructuras:

- **Tanques de aireación.** Cuenta con 3 unidades o tanques con un proceso de operación de aireación prolongada, su sistema de flujo es de pistón, el cual tiene un tipo de aireación con difusor de disco.

Los tanques (reactores) trabajan con flujo de mezcla completa. El contenido de cada uno de los tanques es homogéneo en cuanto a concentración de sólidos y oxígeno disuelto. El agua se diluye rápidamente en el contenido del tanque evitando así cargas bruscas. Este proceso tiene lugar en tres tanques, donde cada uno contará con un sistema de aireación construido con un requerimiento de aire de aproximadamente  $50 - 100 \text{ m}^3$  de aire/h. El diámetro de cada Difusor de disco es de 4", contiene 20 poros de 3/16" por donde se difunde la burbuja de aire.

- **Tanque anaerobio.** En este tanque, las bacterias heterotróficas convierten el nitrógeno en forma de nitratos a nitrógeno gaseoso, para ser liberado a la atmósfera. Parte del licor mezclado de la zona aeróbica es recirculado a la zona anaeróbica para suministrar un licor mezclado con un alto contenido de nitratos. La cantidad de desnitrificación que puede ocurrir depende de la tasa de respiración endógena de los sólidos del licor mezclado y del volumen del tanque anaerobio.

La nitrificación es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal. Este proceso se realiza en dos etapas, en la primera el ion amonio se oxida a nitritos y luego éstos son oxidados a nitratos. Las reacciones de transformación las realizan principalmente dos géneros de bacterias autótrofas aerobias llamadas nitrificantes, que utilizan el carbono inorgánico como fuente de carbono celular. La desnitrificación es un proceso biológico de reducción del nitrato presente en las aguas residuales a nitrógeno molecular en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno) por la acción de bacterias heterótrofas, que usan un sustrato orgánico como fuente de carbono y energía. En el proceso de desnitrificación existe además la posibilidad de acumulación de intermediarios ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) debido al tipo y concentración del sustrato empleado o a las condiciones de operación (temperatura, pH, tiempo de residencia hidráulico, tiempo de retención celular). Sobre la base de esto, para que la transformación culmine en  $\text{N}_2$ , deberán controlarse las condiciones ambientales como el nivel de  $\text{O}_2$  disuelto, la fuente de carbono orgánico, la concentración de nitratos, la relación C/N, la disponibilidad de fósforo, pH, temperatura y posible presencia de tóxicos. (Cervantes, Pérez & Gómez, 2000).

- **Sedimentador.** Se cuenta con un decantador de flujo ascendente que se caracterizará por no contar con equipos mecánicos para la remoción de los lodos sedimentados. En la parte superior es de sección de 1.0 m por 2.5 m y en el fondo tendrá sección de tronco de pirámide invertida; la profundidad de 1.0 m. Las paredes son inclinadas  $60^\circ$  respecto a la horizontal; con este modelo no es necesario tener equipos mecánicos porque los lodos deslizaran por las paredes hacia el fondo, el efluente clarificado es recogido en una canaleta perimetral de concreto.

### **Gráfica 31 Sedimentador**



Fuente. Autor

Los lodos se retiraran del fondo del sedimentador a través de una bomba sumergible de operación manual, que enviara los lodos de retorno hacia el tanque anaerobio en el cual es eliminado del sistema. (Ver Anexo Plano de Estructuras actuales de diseño de la PTARD)

- **Disposición final.** El vertimiento es conducido por una tubería en PVC de diámetro de 4", y transportado por una canaleta hasta su entrega final al suelo.

### **Gráfica 32 Disposición final**



Fuente. Autor

**6.3.2 Levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico).** Se realizó el levantamiento de la PTARD del Conjunto Cerrado Hacienda Real con el objetivo de conocer el terreno, de ubicar las áreas de acceso, las unidades que conforman el sistema de tratamiento (Cribado, Tanque dosificador, Sistema Secundario Aerobio-Anaerobio y Sedimentador), además de conocer la localización basada en las curvas de nivel de la alternativa biológica propuesta (Humedal artificial).

Se realizó una inspección técnica donde se tomaron medidas con el teodolito y la cinta métrica en el terreno, para determinar la posición relativa de uno o más puntos sobre un plano horizontal. Para esto se midieron las distancias horizontales y los ángulos horizontales utilizando el método llamado planimetría.

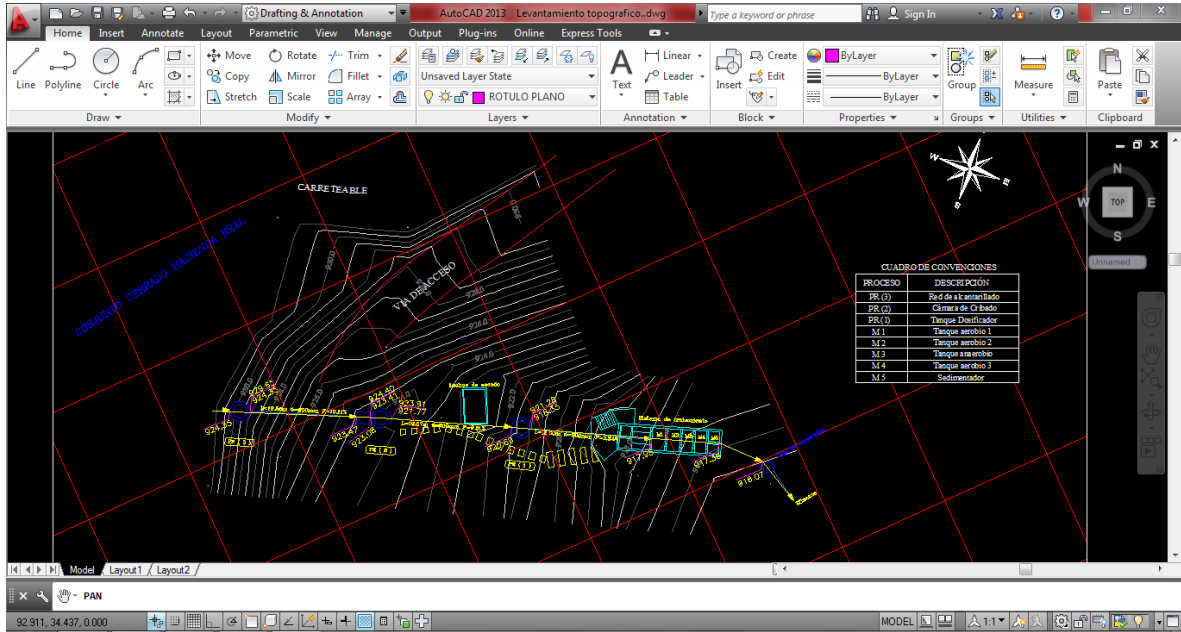
*Gráfica 33 Toma de medidas con el teodolito.*



Fuente. El Autor

El levantamiento topográfico es esencial para localizar correctamente en el terreno por lo cual se pidió ayuda a estudiantes de topografía para su realización. (Ver Anexo Plano del Levantamiento topográfico).

### Gráfica 34 Plano ubicación estructuras AUTOCAD



Fuente. El Autor

### 6.3.3 Determinación de los análisis técnicos de diseño y operativos.

En esta determinación de los análisis técnicos se contó con el apoyo de la administración del Conjunto Cerrado para tener acceso de la información.

**Tabla 16 Parámetros técnicos de diseño del sistema aerobio**

<b>DBO<sub>5</sub> del afluente.</b>	240 – 500 mg/l
<b>DQO del afluente</b>	450 - 900 mg/l
<b>Eficiencia esperada</b>	80 – 95%
<b>Caudal promedio diario</b>	0.10 – 0.32 l/Seg
<b>Longitud total de los tres (3) tanques aireados.</b>	3.38 m
<b>Ancho</b>	2.00
<b>Carga volumétrica</b>	0.32 – 0.64 kg DBO/m <sup>3</sup> -día
<b>Sólidos suspendidos Volátiles del LM</b>	1500 – 3000 mg/l
<b>Índice Volumétrico de lodos</b>	100 IVL
<b>Volumen del sistema de aireación</b>	16.9 m <sup>3</sup>
<b>Tiempo total de retención Hidráulico</b>	24.4 h
<b>Concentración deseada de Oxígeno Disuelto</b>	2.0 mg/l.

Fuente. Conjunto Cerrado Hacienda Real

**Tabla 17 Parámetros de operación sistema anaerobio**

<b>Velocidad de desnitrificación</b>	0.03 – 0.11 d-1.
<b>Tiempo de Retención</b>	8.07 h
<b>Nitrógeno en el afluente NKT</b>	50 mg/l como N
<b>Volumen</b>	3.7 m <sup>3</sup>
<b>Ancho</b>	2.00 m
<b>Q promedio.</b>	5.4 h
<b>Longitud en planta</b>	1.00 m

Fuente. Conjunto Cerrado Hacienda Real

**Tabla 18 Parámetros operativos sistema de tratamiento combinado aeróbio-anaerobio**

<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR/UNIDAD</b>
PARAMETROS GENERALES DE PLANTA.	
<b>Caudal real de operación</b>	0.192 – 0.288 l/seg
<b>Volumen total de los 5 tanques de tratamiento</b>	18.0 m <sup>3</sup>
<b>Lodos a purgar diariamente</b>	3.70 kg/d
<b>Tiempo de retención de lodos.</b>	8 – 12 días.
<b>Demanda total de Oxígeno</b>	10 kg de O <sub>2</sub> /d
<b>Concentración de Oxígeno en el efluente</b>	2 mg/l
<b>Tipo de difusor instalado en planta (Real)</b>	Disco
<b>Numero de difusores</b>	18
<b>Flujo de aire por difusor (Teórico)</b>	6 m <sup>3</sup> /hora
<b>Profundidad de instalación de difusores (Aproximado)</b>	1.3 m
<b>Volumen total de aire requerido</b>	72.4 m <sup>3</sup> /hora o 1737m <sup>3</sup> /d
<b>Tipo de soplador (Real en campo)</b>	Blower (2 Unidades)
<b>Tipo de alimentación</b>	Eléctrica
<b>Motor</b>	1 Hp
<b>Flujo de aire</b>	102 CFM

Fuente. El Autor.

En esta fase se pudo contemplar importantes aspectos del sistema actual en la Planta de Tratamiento del Conjunto, donde se pudo identificar las falencias en el proceso de las cuales se puede resaltar:

1. El sistema preliminar compuesto por un cribado no es eficiente en la retención de sólidos que ingresan en la planta.

2. El tanque de dosificador no se encuentra funcionando, puesto que su dispositivo hidráulico se encuentra dañado y no permite el correcto almacenamiento, ni la distribución del agua al sistema secundario.

3. El sistema secundario en los tres (3) tanques aeróbicos presenta graves problemas de aireación, los equipos blowers que los alimentan no son suficientes.

4. La disposición final del efluente no es la adecuada ni óptima para la entrega del vertimiento.

#### **6.4 FASE 3: GENERAR EL DISEÑO DE LA ALTERNATIVA BIOLÓGICA COMPUESTA POR UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

##### **6.4.1 Se propuso alternativas de mejora para el sistema de tratamiento en cada una de sus etapas.**

Una vez realizada la identificación y descripción de las condiciones actuales de la PTAR del Conjunto se evaluaron las diferentes alternativas en el sistema primario y secundario de la misma, que garantice el cumplimiento de la normatividad vigente. A continuación se enumeran cada una de las falencias del sistema actual de la planta de tratamiento:

- El sistema de tratamiento preliminar (Cribado) de la Planta de Tratamiento del Conjunto no es lo suficientemente eficiente en la retención de los sólidos que ingresan.
- El tanque de dosificación que distribuye el caudal a todo el sistema secundario no se encuentra en funcionamiento, la tubería que lo conforma se encuentra deteriorada, esto requiere correctivos inmediatos.
- Las celdas aeróbicas presentan grandes problemas de aireación, los equipos sumergibles fueron supervisados y la recomendación del mismo es implementar equipos con mayor capacidad.
- Otro inconveniente importante es la disposición final del efluente la cual no cuenta con una entrega óptima, en el presente trabajo se evaluó un método para darle un buen manejo al vertimiento.

**6.4.1.1 Cribado.** El cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una rejilla.

De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas son de limpieza manual o mecánica. Según el tamaño de las aberturas se clasifican como rejillas gruesas o finas. Las gruesas son aquellas con aberturas iguales o mayores de 0,64 cm (1/4 pulgada), mientras que las finas tienen aberturas menores de 0,64 cm.

En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc., del taponamiento o interferencia causada por trapos, tarros y objetos grandes. Las características principales de los dos tipos de rejillas usados, de limpieza manual y mecánica, se incluyen en la siguiente Tabla.

**Tabla 19 Rejillas de barras**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>DE LIMPIEZA MANUAL</b>	<b>DE LIMPIEZA MECANICA</b>
Ancho de las barras	0,5 - 1,5 cm	0,5 - 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,6 - 7,5 cm	2,5 - 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 - 5,0 cm	1,5 - 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 - 0,6 m/s	0,6 - 1,0 m/s
Perdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño.

La longitud de las rejillas de limpieza manual no debe exceder de la que permita su limpieza conveniente por el operador. En la parte superior de la rejilla debe proveerse una placa de drenaje temporal del material removido.

El canal de acceso de la rejilla debe diseñarse para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado, antes y después de la rejilla. El canal debe, preferiblemente, ser horizontal, recto y perpendicular de la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella.

A medida que el material se acumula sobre la rejilla, ésta se va taponando y la pérdida de energía, consecuentemente, aumenta. El diseño estructural debe ser el adecuado para impedir la rotura de la rejilla cuando está taponada.

Se recomienda instalar rejillas de limpieza manual para gastos menores que  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ; cuando el gasto es igual o mayor, es conveniente utilizar rejillas con limpieza mecánica. En las plantas de tratamiento pequeñas, generalmente se instalan rejas de limpieza manual en un canal.

En el diseño de rejas se considera el gasto de aguas residuales y los tirantes que se presentan antes y después del emparrillado, los cuales dependen de la cantidad de material retenido, que puede evaluarse mediante el porcentaje del emparrillado que obstaculizan.

**1. Diseño de rejillas de limpieza manual.** Un procedimiento para el diseño de las rejillas es el siguiente:

1. Con el gasto de diseño y la velocidad mínima recomendada, calcular el área libre al paso del agua ( $A_T = Q/v$ ).

$$A_T = \frac{0.27 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.6 \text{ m/s}}$$
$$A_T = 0.00045 \text{ m}^2$$

2. Proponer el alto del agua en el canal (h).

$$\text{Alto} = 0.3 \text{ m}$$

3. Calcular la suma de las separaciones entre barras ( $b_g = A_L/h$ ).

$$B_g = 0.00045 \text{ m}^2 / 0.30 \text{ m}$$
$$B_g = 0.0015 \text{ m}$$

Según la tabla 24 lo mínimo es  $0.026 \text{ m}$

4. Proponer las características del emparrillado: espesor ( $\beta$ ) y separación entre barras (e).

El factor de forma de barras  $\beta = 2,42$  para barras rectangulares de caras rectas

5. Calcular la pérdida en rejillas(H)



Los difusores de membrana de burbuja fina vienen con miles de micro perforaciones que permiten obtener valores muy altos de transferencia de  $O_2$ , siendo especiales para reactores aeróbicos.

- **Características técnicas.** El difusor es para aireación con membranas de burbuja fina, fabricados como discos, tubos o platos sobre un soporte en polipropileno reforzado en fibra de vidrio. Considerando que el criterio más importante para la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales es el consumo de energía en la aireación, estos sistemas fueron optimizados durante mucho tiempo en términos de calidad del material y la más moderna tecnología de perforación. Uno de los criterios de selección de qué tipo de difusor utilizar esta dado por el tamaño y tipo de estanque, los mt para pequeños, ms y mf para medianos a grandes.

*Gráfica 36 Difusor de membrana de burbuja fina*



Fuente. Sulzer - ABS Nopon [www.sulzer.com](http://www.sulzer.com)

- **Características difusor**

1. El material “estándar” de las membranas es epdm. también están disponibles en silicona y poliuretano.
2. Las perforaciones se han diseñado en tamaño y distribución para obtener una transferencia optima de oxígeno.
3. Las burbujas obtenidas tienen un diámetro promedio de 0,8 a 1,9 mm.
4. La extraordinaria eficiencia de los difusores está dada por su forma y materiales utilizados.

5. Imposibilidad de obstrucción por lodo.
6. Pueden ser operados intermitentemente sin riesgo de ingreso de agua.

**6.4.2 Alternativa Biológica de Tratamiento terciario de las aguas residuales, características de diseño.** Humedales de flujo subsuperficial, en este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0,45 a 1m y con pendiente de 0 a 0,5%. En contraste con los humedales de flujo superficial o con espejo de agua, los humedales artificiales de flujo subsuperficial tienen menores requerimientos de área y carecen de problemas de olores y de mosquitos. Como desventaja, sin embargo, se tiene un costo mayor por el medio de grava y riesgo de taponamiento. La vegetación es semejante en los humedales con espejo de agua y no se requiere cosechar las plantas.

Es un sistema de tratamiento de agua residual poco profundo, donde se siembran plantas acuáticas y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual.

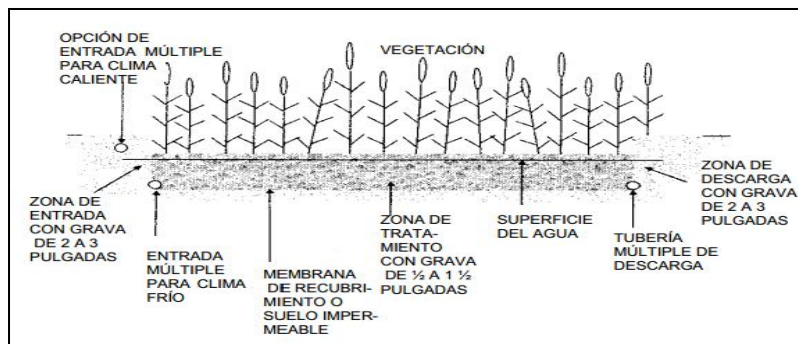
Según las características del agua vertida, se propone diseñar un humedal artificial de flujo Subsuperficial, como tratamiento final para la PTARD del conjunto residencial. Este sistema consiste típicamente de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0,45 a 1m y con pendiente de 0 a 0,5%, para prevenir la filtración.

La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo y la presencia de tallos de la planta regulan el flujo del agua, cumpliendo con ciertos mecanismos que se basan en los siguientes principios:

- Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- Eliminación de materia orgánica por la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O<sub>2</sub>) o anaerobios (sin O<sub>2</sub>).

- Eliminación del nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos.
- Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
- Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

**Gráfica 37 Sistema de agua Subsuperficial.**



Fuente. [http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003\\_07\\_10\\_mtb\\_cs\\_00\\_023.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003_07_10_mtb_cs_00_023.pdf)

**Tabla 20 Características típicas del medio para humedales de flujo sub-superficial**

<u>MEDIO</u>	<u>TAMAÑO EFECTIVO mm</u>	<u>POROSIDAD</u>	<u>CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA m/día</u>
<u>Arena media</u>	<u>1</u>	<u>0,30</u>	<u>500</u>
<u>Arena gruesa</u>	<u>2</u>	<u>0,32</u>	<u>1.000</u>
<u>Arena y grava</u>	<u>8</u>	<u>0,35</u>	<u>5.000</u>
<u>Grava media</u>	<u>32</u>	<u>0,40</u>	<u>10.000</u>
<u>Grava gruesa</u>	<u>128</u>	<u>0,45</u>	<u>100.000</u>

Fuente. Romero Rojas, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales.

Con el fin de cuantificar el rendimiento del humedal de flujo subsuperficial, para remoción de contaminantes, se ha propuesto el modelo básico de flujo en pistón con incorporación de diferentes coeficientes empíricos.

*Tabla 21. Parámetros de diseño*

PARAMETROS DE DISEÑO	
Caudal de diseño $Q_d$ (m <sup>3</sup> /día)	24.88
DBO <sub>5</sub> del afluente al humedal $C_o$ (mg/l)	138.15
Temperatura mínima del agua $T$ (°C)	26
Tiempo de retención hidráulica TRH (día)	1.89
<b>Medio: Grava media</b>	
Tamaño efectivo $T_e$	32
Porosidad $P$	0,38%
Conductividad hidráulica $CH$ (m/día)	10.000
Pendiente $P$ (%)	2%
Nivel de complejidad del sistema	Bajo
Profundidad del agua $H_a$ (m)	0,60
Área superficial $A$ (m <sup>2</sup> )	12.83
Ancho $B$ (m)	3.2075
Longitud $L$ (m)	6.415
DBO <sub>5</sub> del efluente del humedal $C_e$ (mg/l)	115
Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub>	25%

Fuente. Autor.

#### 6.4.2.1 Cálculos de diseño para el humedal

**1. Determinación de la profundidad del humedal.** La profundidad de un humedal está regida por la profundidad máxima que alcancen las raíces de las plantas emergentes que se vayan a utilizar. Para el diseño del humedal se tomó en cuenta una profundidad de 0.60 m.

**2. Determinación del área superficial.** Se calcula mediante la expresión.

$$A_s = \frac{[Q (\ln C_0 - \ln C_e)]}{K_T h n}$$

Dónde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/día).

Ce= concentración de DBO5 del efluente en (mg/l)

Co= concentración de DBO5 del afluente (mg/l)

Kt= constante de velocidad de reacción del sistema d<sup>-1</sup>

Kt= según la EPA los valores a tomar son:

T= temperatura del agua (°C)

K<sub>20</sub>= constante de velocidad de primer orden del sistema a 20 °C (d<sup>-1</sup>)

h= profundidad del lecho (m).

n= porosidad del medio

$$K_T = 1.104 (1.06^{T-20})$$

$$K_T = 1.104 (1.06^{(26-20)})$$

$$K_T = 1.5660451$$

$$A_s = 24.88 \text{ m}^3/\text{día} * ((\ln 138.16) - (\ln 115))$$

$$1.5660451 * 0.6 * 0.38$$

$$A_s = 12.83 \text{ m}^2$$

**3. Determinación del tiempo de remoción.** La determinación del tiempo de retención teórico que tendrá el Humedal puede hacerse mediante la expresión:

$$T_r = \frac{\ln C_0 - \ln C_e}{K_T}$$

$$t_r = \ln 138.16 - \ln 115$$

$$1.5660451$$

$$t_r = 1.89 \text{ días}$$

**4. Determinación del área de la sección transversal.** El área de la sección transversal se calcula mediante la expresión:

$$A_c = \frac{Q}{K_D S}$$

Dónde:

$A_c$  = área transversal del lecho  $m^2$

$K_D$  = conductividad hidráulica Darciana (m/s) = 10.000

$Q$  = caudal  $m^3/s$

$S$  = pendiente = 2%

$$A_c = \frac{Q}{K_D S}$$

$$A_c = \frac{24.88}{10.000 * 0.2}$$

$$A_c = 0.0124 m^2$$

**5. Determinación del ancho y de la longitud del humedal.** Conocida el área de la sección transversal y la profundidad del lecho puede plantearse:

$W$  = Ancho del humedal

$L$  = Longitud del humedal

**$L:W$  2:1**

$A_s$  = 12.83  $m^2$

$12.83 / 2 = 6.415$

**$L = 6.415 m$**

$6.415 / 2 = 3.2075$

**$W = 3.2075 m$**

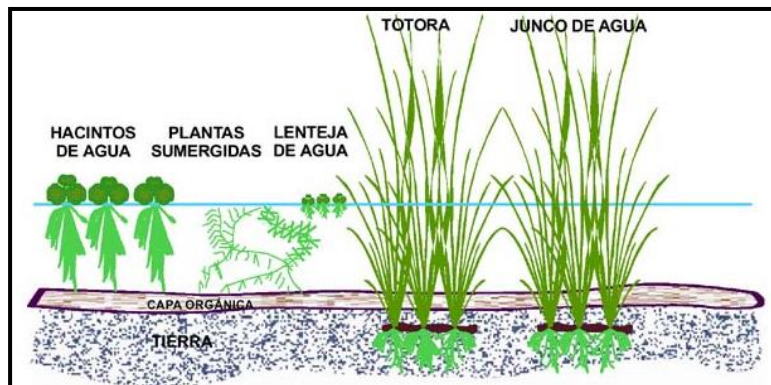
**6.4.2.2 Vegetación.** Para este sistema se utilizan plantas acuáticas y se distinguen por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido de carbono y las necesidades de oxígenos de la atmosfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua, la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana. (Ver anexo Plano de estructuras actuales y diseño de nuevas de la PTARD Conjunto Cerrado Hacienda Real).

**Tabla 22 Plantas acuáticas emergentes utilizadas en el tratamiento de aguas residuales en PPM**

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura en °C		Máxima salinidad	Rango de pH efectivo
			Deseable	Germinación de la semilla	Tolerancia ppm	
Totora	Typha spp.	Amplia distribución en todo el mundo.	10-30	12-24	30	4-10
Caña	Phragmites		12-23	10-30	45	2-8
Junco	Juncus spp		16-26		20	5-7.5
Junco	Scirpus		18-27		20	4-9
Carrizo	Carex spp		14-32			5-7.5

Fuente. Reed, S.C., J Miledlebrooks and R.w., Crities (1995).

**Gráfica 38. Plantas Acuáticas emergentes para humedales**



Fuente. Reed, S.C., J Miledlebrooks and R.w., Crities (1995).

**Gráfica 39. Plantas Acuáticas emergentes Juncos**



Fuente. Reed, S.C., J Miledlebrooks and R.w., Crities (1995).

**6.4.2.3 Mantenimiento del humedal artificial.** Los humedales de tratamiento de aguas residuales requieren intervenciones sencillas y de corta duración como:

➤ **El ajuste de la profundidad de agua para alentar el crecimiento de raíz de planta.** El nivel del agua siempre debe ser mantenido debajo de la capa de suelo. Esto será regulado naturalmente por el sistema de entrada-salida. Durante el crecimiento inicial de la planta, el desagüe puede servir para bajar el nivel del agua y alentar la profundidad de raíz de la planta en el sustrato de grava. Finalmente las raíces de planta deben extenderse al fondo de los medios.

➤ **Vegetación.** Las aguas residuales no son tóxicas a plantas, así que la vegetación prosperará en este ambiente rico en nutrientes. No es necesario para cosechar las plantas de humedal, sin embargo, si las plantas están muy marchitas aún con agua suficiente, pueden sufrir de una sobrecarga de contaminantes y debe ser reemplazados con otras plantas.

➤ **Limpieza periódica.** La malla en la entrada y salida debe ser limpiada para prevenir obstrucción por sólidos suspendidos y grava.

➤ **Monitoreo de la calidad del agua.** Se recomienda que se hagan monitoreos periódicamente los niveles de nutrientes y DBO<sub>5</sub> para estimar la reducción e identificar los problemas potenciales.

Estas actividades se pueden realizar mediante visitas periódicas al sistema. El operador podrá realizar una verificación manual de los trabajos. La visita se efectuará dos o tres veces por semana. Después de altas precipitaciones se deben efectuar visitas con más frecuencia verificando los niveles de flujo en el sistema. En este humedal artificial de flujo subsuperficial se debe prevenir la presencia de flujos superficiales, evitando de esta manera la generación o crecimiento de vectores.

**6.4.2.4 Controles.**

**1. Control para cumplir exigencias de descarga.** El control para cumplir con los requerimientos mínimos de remoción está sujeto a lo establecido por la legislación actual colombiana Decreto 1594 de 1984, ejecutando los muestreos y parámetro físico-químico y biológico establecido por la autoridad ambiental regional.

**2. Control del rendimiento del sistema.** El control de rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar carga hidráulica, volúmenes de entrada y salida, temperatura, pH y la efectividad del sistema puede ser evaluado mediante la comparación de las cargas de entrada y salida al sistema.

**3. Control de la salud del humedal.** El sistema debe ser controlado periódicamente para identificar elementos adversos como el crecimiento de vegetación indeseable, además de ello se debe realizar la cuantificación del material vegetal con el objetivo de identificar un balance positivo en el aumento de la densidad poblacional.

#### **6.5 FASE 4: EVALUAR LA EFICIENCIA Y EL COSTO DE LAS MODIFICACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO INCLUIDAS LAS ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS PROPUESTAS.**

Se realizó el análisis de costos para las mejoras propuestas de tratamiento donde se incluyó los materiales y equipos utilizados para su implementación y se evaluó la eficiencia del tratamiento propuesta, en materia de porcentaje de remoción de los parámetros exigidos por la normatividad ambiental.

<b>CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS Y SUMINISTRO DE EQUIPOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA PTAR DEL CONJUNTO RESIDENCIAL HACIENDA REAL</b>					
<b>ALTERNATIVA - POSTRATAMIENTO CON HUMEDAL ARTIFICIAL</b>					
<b>CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA Y PRESUPUESTO</b>					
<b>ITEM</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANT.</b>	<b>UND.</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>VR. PARCIAL</b>
<b>SECCION PRIMERA</b>					
<b>Trabajos preliminares</b>					
<b>1,00</b>	Campamento	1	Global	100.000	100.000

<b>1,01</b>	Replanteo, control y medición de la obra	1	Global	2.500.000	2.500.000
<b>1,02</b>	Retiro de basuras y escombros	24	m3	35.000	840.000
<b>Subtotal: \$</b>					<b>3.440.000</b>
<b>SECCION SEGUNDA</b>					
<b>Movimiento de tierras</b>					
<b>2,00</b>	Excavaciones				
<b>1</b>	Excavación en zanja para redes y estructuras				
<b>A</b>	Excavación con acarreo libre				
<b>01</b>	En tierra con entibados De 0.00 a 2.50 m de profundidad	21	m3	25.000	525.000
<b>B</b>	Terraplenes y rellenos Suministro, conformación y compactación de rellenos común	4,3	m3	15.000	64.500
<b>Subtotal: \$</b>					<b>589.500</b>
<b>SECCION TERCERA</b>					
<b>Tuberías prefabricadas</b>					
<b>3,00</b>	Tubería de PVC, Tubería Sanitaria, Suministro e instalación de tubería, D = 4", incluyendo accesorios	24	M	35.000	840.000
<b>3,03</b>	Tubería PVC para redes hidráulicas				
<b>C</b>	Suministro e instalación de tubería para redes hidráulicas, D = 2" RDE-26	6	M	13.500	81.000
<b>3,04</b>	Suministro e instalación de válvulas PVC De Diámetro 2"	2	U	65.000	130.000
<b>Subtotal: \$</b>					<b>1.051.000</b>
<b>SECCION CUARTA</b>					
<b>Estructuras</b>					
<b>4,02</b>	Concretos con cemento tipo V				
<b>4,02.1</b>	Suministro y colocación de concreto de 3.500 psi para muros y columnas	4,84	m3	730.000	3.530.718
<b>4,02.2</b>	Suministro y colocación de concreto pobre en solados	1	m3	330.000	330.000
<b>4,03</b>	Acero de refuerzo				
<b>3</b>	Suministro e instalación de acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm <sup>2</sup>	354	Kg	5.500	1.947.000
<b>Subtotal: \$</b>					<b>5.807.718</b>
<b>SECCION QUINTA</b>					
<b>Equipos y Varios</b>					
<b>5,02</b>	Suministro e instalación Difusores de Burbuja Fina				
<b>A</b>	Difusor de burbuja fina Sanitaria Disco D= 8"	18	Un	117.500	2.115.000

<b>5,03</b>	Suministro e Instalación Soplador – Blower	1	Un	4.500.000	4.500.000
<b>5,04</b>	Suministro e Instalación de Geomembrana				
<b>A</b>	Geomembrana HR 1500 - Incluye Geotextil	50	m2	115.000	5.750.000
<b>5,05</b>	Suministro e Instalación de material de soporte, filtro y especies vegetales				
<b>A</b>	Suministro y colocación de compost	4	m3	350.000	1.400.000
<b>B</b>	Suministro y colocación de bolo de río	3	m3	120.000	360.000
<b>C</b>	Suministro y siembra de Phragmites.	30	Un	50.000	1.500.000
<b>5,06</b>	Elementos en PRFV				
<b>A</b>	Rejilla cribado PRFV	2	U	120.000	240.000
<b>B</b>	Compuerta PRFV	2	m2	80.000	160.000
				<b>Subtotal: \$</b>	<b>16.025.000</b>
				<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>26.913.218</b>
				<b>AIU 25%</b>	<b>6.728.305</b>
				<b>IVA 16%</b>	<b>215.306</b>
				<b>Presupuesto Total: \$</b>	<b>33.856.828</b>

### 1. Cribado más Humedal Artificial subsuperficial

- Costo total de la primera alternativa    **\$ 33.856.828**
  
- Phragmites son las plantas preferidas para esta aplicación. Esta planta tiene varias ventajas debido a que se trata de una planta durable de rápido crecimiento que no es una fuente alimenticia para aves o la vida silvestre.

Esta especie utilizada específicamente es *Phragmites communis*, la cual tiene una amplia distribución dentro de los 5 continentes según lo reportado por el Missouri Botanical Garden, es una gramínea que habita en ambientes de pantanos, riberas y orillas de lagos, posee una buena adaptación a ambientes con disturbios o contaminación (Cui et al. 2009).

Las plantas acuáticas macrófitas *Phragmites*, que constituyen la base de la tecnología de los wetland, tienen la propiedad de inyectar grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces. El aire que no es aprovechado por la especie y que ésta expelle es absorbido por microorganismos, como

bacterias y hongos, que se asocian a la raíz y se encargan de metabolizar los contaminantes que entran al sistema. (Novotny y Olen, 2005)

## 2. Ventajas y Desventajas

- χ Larga puesta en marcha, que va desde meses hasta un año en los sistemas de Flujo Subsuperficial.
- ✓ No requiere continuo mantenimiento.
- ✓ Los sistemas de humedales proporcionan una adición valiosa al "espacio verde" de la comunidad, e incluye la incorporación de hábitat de vida silvestre
- ✓ Estos sistemas no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.

**Tabla 23 Remoción de parámetros**

<b>Parámetro</b>	<b>Porcentaje de eliminación (%)</b>
Sólidos de suspensión	80 - 90
DBO5	80 - 90
N	35 - 50
P	20 - 35
Coliformes Fecales	90 - 99

Fuente. El Autor.

## CONCLUSIONES

- Con los monitoreos realizados al agua residual del Conjunto se corrobora que no está cumpliendo con los lineamientos exigidos por el Decreto de vertimientos en la carga contaminante medida en mg/l, por lo tanto se obliga a tomar medidas inmediatas para mejorar sistema de tratamiento, para lo cual se presentaron diferentes alternativas de mejora en el proceso preliminar, primario y secundario, adicionando además una alternativa terciaria biológica que permita cumplir con lo exigido por la Autoridad Ambiental.
- Para la determinación de algún tipo de aprovechamiento, fue fundamental realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del vertimiento tratado, una vez se diseñen las nuevas estructuras, fueron importantes los resultados de los monitoreos los cuales se compararon con la normatividad de vertimientos vigentes para tomar la mejor decisión de las alternativas a implementar.
- Una vez evaluado todo el sistema de tratamiento en cuanto al estado de las estructuras, se encontró muchas falencias en las condiciones que se encuentran el pretratamiento, tratamiento primario y secundario, por tal motivo se diseñó un cribado que permita la retención de sólidos que ingresa en la planta, mejoramiento en la tubería del tanque de dosificador, modificaciones en los difusores con el fin de tener más capacidad en el sistema aerobio y los microorganismo actúen eficientemente, por último se diseñó un humedal artificial que contribuya a la remoción de los contaminantes y entregar así un vertimiento en mejores condiciones al suelo.
- Como proceso adicional al sistema de tratamiento ya definido para la Planta del Conjunto, se diseñó una alternativa biológica (Humedal Artificial), que permita mejorar así las características del efluente, cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos exigidos por la normatividad y la autoridad ambiental, disminuyendo el impacto negativo que se realiza en el suelo.
- Una vez propuestas todas las modificaciones técnicas y el diseño de la alternativa biológica, se evaluó las ventajas y el costo de las mismas, por tal motivo se espera que una vez puesta en funcionamiento el vertimiento disminuirá su carga contaminante y así evitará sanciones por incumplimiento en la normatividad.

## BIBLIOGRAFIA

American University (2005). Capítulo 2 Fundamentos del tratamiento biológico. Puebla, Mexico. Disponible en:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/munoz\\_c\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo2.pdf)

Analiza Calidad Asesores Ltda, (2009). Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>.

Borrero J. Lara. (2004). Implantación y Evolución de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia.

Calvo, S. (2007). Procesos en la depuración y regeneración de aguas residuales. Disponible en: <http://www2.cbm.uam.es/jalopez/personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm>

Cervantes-Carrillo F, Pérez J, Gómez J. 2000. Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. México, D. F.: Revista Latinoamericana de Microbiología. p 73-82

Cui S; Hu J; Yang B; Shi L; Huang F; Tsai, Ngai S; He Y; Zhang J. (2009). Proteomic characterization of *Phragmites communis* in ecotypes of swamp and desert dune. *Proteomics*, 9: 3950–3967.

Delgadillo, O.; Camacho, A.; Pérez, L.; Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. Serie Técnica.

Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales (2010). Tratamiento Físicoquímico y Biológico de Aguas Residuales. Estructuración de un Sistema de Aguas Residuales. Disponible en: <http://www.geocities.ws/edrochac/residuales/tratamientobiologico4.pdf>

Novotny, V. and Olem, H. (2005) *Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution*. Van Nostrand Reinhold, New York. 1054 pp.

Otálora, A., (2011). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandúl. Trabajo final de maestría. Universidad Nacional De Colombia, Bogotá, Colombia.

Pinzón Pérez, L. (2012). Ciencias Naturales de Piedecuesta. Primera edición. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/99476930/Ciencias-Naturales-de-Piedecuesta>

Soberanes, G. (2008) Tratamiento Primario, Capitulo 1, tanque de igualación. Definición. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/290644922/CAPITULO10-Tanque-de-igualacion>.

Romero Rojas, A. (2004) Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y principios de diseño, Editorial Escuela Colombiana de Ingenieros, Tercera Edición.

Sanabria, O. (2009). Humedales Artificiales de Alta Tasa - HAAT- Reactores de flujo horizontal subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales: Teoría y Práctica.

Standar Methods for examination of water and wastewater, 20<sup>th</sup> Ed.1998, APHA AWWA.

# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 1



**PSL  
PROANALISIS  
LTDA**

NIT. 800.193.010-3

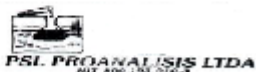
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
ACREDITACIÓN IDEAM NTC 150 - ISO 17025  
CERTIFICACIÓN DE PERFIL VERTICAL ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001  
Análisis Físico-Químico, Microbiológico y  
Biológico de Aguas, Suelos y Aire  
Proyectos, Asesorías, Seminars, Cursos e  
Ingeniería de la Industria Petrolera y Ambiental

### INFORME DE RESULTADOS

Solicitante: Maryori Katherine Güiza Rubiano  
 Fecha de emisión: 26 de Octubre de 2015  
 Procedimiento de muestreo: procedimiento propio del cliente  
 Muestra tomada por: Cliente  
 Plan de muestreo: Katherine Güiza 2015 CPR  
 Fecha de toma de muestra: 09 de Octubre de 2015  
 Fecha de recepción: 10 de Octubre de 2015  
 Fecha de realización análisis: 10 al 16 de Octubre de 2015  
 Tipo de muestra: Compuesta  
 Clase de muestra: Agua Residual Domestica  
 Sitio de muestreo: PTAR Conjunto Cerrado Hacienda Real, Piedecuesta-Santander

### RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUAS

PARAMETRO	ENTRADA DIA	SALIDA DIA	ENTRADA NOCHE	SALIDA NOCHE	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
DQO	582	618	292	546	mg/l	STANDARD METHODODS 5210 B COLORIMETRIA
DBO5	175	146	144	128	mg DBO5/lt	STANDARD METHODODS 5210 B
TURBIEDAD	164	204	115	84	FAU	COLORIMETRIA
CONDUCTIVIDAD	624	689	521	628		EQUIPO HACH
SOLIDOS SEDIMENTABLES	3,5	2,5	< 0,1	2	ml/L	STANDARD METHODODS 2540 D
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	88	96	28	112	mg/L	STANDARD METHODODS 2540 D
SOLIDOS VOLATILES	56	60	12	84	mg/L	STANDARD METHODODS 2540 D,E
GRASAS Y ACEITES	301	350	37	75	mg/L	STANDARD METHODODS 5520 B



Página 1 de 1

BUCAHAMANGA, CARRERA 14 No. 55-18 - TELEFAX: (097) 6444625 - 6115176 - CEL: 300 2006390  
 www.pslproanalisis.com - E-mail: psiproanalisis@yahoo.com - info@pslproanalisis.com

## Anexo 2 Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 2



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
 ACRREDITACIÓN IDEAM NTC ISO - ISO 17025  
 CERTIFICACION DE BUREAU VERITAS ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001  
 Análisis Físico-Químico, Microbiológico y  
 Biológico de Aguas, Suelos y Aire  
 Proyectos, Asesorías, Simulacros, Diarios e  
 Ingeniería de la Industria Petrolera y Ambiental

### INFORME DE RESULTADOS

Solicitante: Maryori Katherine Güiza Rubiano  
 Fecha de emisión: 20 de Noviembre de 2015  
 Procedimiento de muestreo: procedimiento propio del cliente  
 Muestra tomada por: Cliente  
 Plan de muestreo: Katherine Güiza 2015 CPR  
 Fecha de toma de muestra: 02 de Noviembre de 2015  
 Fecha de recepción: 03 de Noviembre de 2015  
 Fecha de realización análisis: 03 al 20 de Noviembre de 2015  
 Tipo de muestra: Compuesta  
 Clase de muestra: Agua Residual Domestica  
 Sitio de muestreo: PTAR Conjunto Cerrado Hacienda Real, Piedecuesta-Santander

### RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUAS

PARAMETRO	ENTRADA DIA	SALIDA DIA	ENTRADA NOCHE	SALIDA NOCHE	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
DQO	670	304	572	344	mg/l	STANDARD METHODODDS 5210 B COLORIMETRIA
DBO5	286	183	104	117	mg DBO5/lt	STANDARD METHODODDS 5210 B
TURBIEDAD	226	92	170	90	FAU	COLORIMETRIA
CONDUCTIVIDAD	579	595	715	634		EQUIPO HACH
SOLIDOS SEDIMENTABLES	22	0,1	5	0,3	ml/L	STANDARD METHODODDS 2540 D
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	300	76	200	96	mg/L	STANDARD METHODODDS 2540 D
SOLIDOS VOLATILES	246	44	152	48	mg/L	STANDARD METHODODDS 2540 D,E
GRASAS Y ACEITES	176	43	49	55	mg/L	STANDARD METHODODDS 5520 B



Página 1 de 1

BOGOTÁ, CARRERA 14 No. 55-18 - TELEFAX: (097) 6444625 - 6415176 - CEL: 300 2306690  
[www.pslproanalisis.com](http://www.pslproanalisis.com) - E-mail: [pslproanalisis@yahoo.com](mailto:pslproanalisis@yahoo.com) - [info@pslproanalisis.com](mailto:info@pslproanalisis.com)

## Anexo 3 Resultados análisis de laboratorio Monitoreo 3



**PSL  
PROANALISIS  
LTDA**

NIT. 800.193.010-3

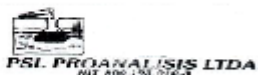
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
ACREDITACION IDEAM NTC ISO - ISO 17025  
CERTIFICACION DE PURIFICACION ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001  
Análisis Físico-Químico, Microbiológico y  
Biológico de Aguas, Suelos y Aire  
Proyectos, Asesorías, Seguimiento, Diseños e  
Ingeniería de la Industria Petrolera y Ambiental

### INFORME DE RESULTADOS

Solicitante: Maryori Katherine Güiza Rubiano  
 Fecha de emisión: 16 de Diciembre de 2015  
 Procedimiento de muestreo: procedimiento propio del cliente  
 Muestra tomada por: Cliente  
 Plan de muestreo: Katherine Güiza 2015 CPR  
 Fecha de toma de muestra: 16 de Diciembre de 2015  
 Fecha de recepción: 17 de Diciembre de 2015  
 Fecha de realización análisis: 17 al 30 de Diciembre de 2015  
 Tipo de muestra: Compuesta  
 Clase de muestra: Agua Residual Domestica  
 Sitio de muestreo: PTAR Conjunto Cerrado Hacienda Real, Piedecuesta-Santander

### RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUAS

PARAMETRO	ENTRADA DIA	SALIDA DIA	ENTRADA NOCHE	SALIDA NOCHE	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
DQO	732	310	644	228	mg/l	STANDARD METHODODS 5210 B COLORIMETRIA
DBO5	200	135	120	104	mg DBO5/lt	STANDARD METHODODS 5210 B
TURBIEDAD	231	111	90	85	FAU	COLORIMETRIA
CONDUCTIVIDAD	578	609	588	600		EQUIPO HACH
SOLIDOS SEDIMENTABLES	14	0	5	0	ml/L	STANDARD METHODODS 2540 D
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	227	44	180	52	mg/L	STANDARD METHODODS 2540 D
SOLIDOS VOLATILES	200	36	167	40	mg/L	STANDARD METHODODS 2540 D,E
GRASAS Y ACEITES	234	52	42	57	mg/L	STANDARD METHODODS 5520 B



**PSL PROANALISIS LTDA.**  
NIT. 800.193.010-3

Página 1 de 1

BOGOTÁ, CARRERA 14 No. 55-18 - TELEFAX: (097) 6444625 - 6415176 - CEL.: 300 2006390  
[www.pslproanalysis.com](http://www.pslproanalysis.com) - E-mail: [pslproanalysis@yahoo.com](mailto:pslproanalysis@yahoo.com) - [info@pslproanalysis.com](mailto:info@pslproanalysis.com)

**Anexo 4 Plano de estructuras actuales y diseño de nuevas de la PTARD Conjunto Cerrado Hacienda Real**

## **Anexo 5 Plano levantamiento topográfico (Planimétrico y Altimétrico)**