



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
**PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

**RESIDUALES DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO**

**CAMILO ANDRÉS ARROBA TORRES**

**DAVID ALFONSO ÁVILA MALAVER**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**FACULTAD INGENIERÍA CIVIL**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**BOGOTÁ**

**2015**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**  
**PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO**

**CAMILO ANDRÉS ARROBA TORRES**

**DAVID ALFONSO ÁVILA MALAVER**

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero civil

Director proyecto de grado:

Ing. Fabio Eduardo Díaz López

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**

**FACULTAD INGENIERÍA CIVIL**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**BOGOTÁ**

**2015**



CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	8
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO .....	10
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	11
4. OBJETIVOS .....	12
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	12
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	12
5. MARCO REFERENCIAL.....	13
5.1. MARCO HISTORICO .....	13
5.2. MARCO TEORICO .....	14
5.2.1. Plantas de tratamiento de agua residual aeróbicas.....	14
5.2.2. Plantas de tratamiento de agua residual anaeróbica.....	16
5.2.3. Parámetros fisicoquímicos del agua residual.....	17
5.2.4. DBO (demanda bioquímica de oxígeno) .....	22
5.2.5. Lodos activados .....	24



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

5.2.6.	Aireación.....	27
5.2.7.	Sedimentación.....	29
5.2.8.	Sólidos suspendidos.....	31
5.3.	MARCO NORMATIVO .....	32
6.	METODOLOGÍA .....	35
6.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA.....	36
6.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	38
6.3	PUNTOS DE MUESTREO.....	43
6.4	PREPARACIÓN DE REACTIVOS.....	45
6.5	PRUEBA DE REACTIVOS.....	46
6.6.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL PLANO DE LAS PLANTA ....	49
7.	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	51
7.1	DETERMINACIÓN DE LA DBO <sub>5</sub> .....	51
7.2	DETERMINACIÓN DE LA DQO CON EL ESPECTROFOTOMETRO.....	52
7.3	DETERMINACIÓN DE FOSFATOS PRESENTES EN EL AGUA.....	53
7.4	DETERMINACIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS.....	55
8.	CONCLUSIONES .....	58
9.	RECOMENDACIONES .....	60



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

10. BIBLIOGRAFIA .....	62
ANEXOS .....	65



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos típicos de Calidad Físico Química para Agua Residual Doméstica.....	18
Tabla 2. Calidad del Agua Parámetros físicos agua residual doméstica.....	21
Tabla 3. Datos típicos de la DBO dependiendo el tipo de agua .....	22
Tabla 4. Lineamientos para la calidad del agua.....	24
Tabla 5. Variaciones más comunes en el proceso de lodos activados y características de los procesos. ....	26
Tabla 6. Parámetros de caracterización de los procesos de lodos activados en sus variaciones más comunes.....	27
Tabla 7. Resumen de la determinación de DBO5 y oxígeno disuelto. ....	51
Tabla 8. Resumen de la determinación de DQO por espectrofotometría.....	52
Tabla 9. Calibración de las concentraciones patrón para la determinación de fosfato.....	53
Tabla 10. Valores de la concentración de fosfatos presentes en el agua. ....	54
Tabla 11. Valores en mg/l de los sólidos suspendidos y solidos suspendidos volátiles.....	55
Tabla 12. Datos para la construcción de la curva de calibración. Fuente propia.....	75
Tabla 13. Concentraciones de las soluciones patrón. Fuente propia.....	76



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas de la Digestión Anaerobia.....	17
Figura 2. Interrelación entre los sólidos presentes en el agua y el agua residual.....	31
Figura 3. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento.....	38
Figura 4. Ecuaciones para cálculos.....	48
Figura 5. Plano planta del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus.....	49
Figura 6. Corte perfil A-A del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus.....	50
Figura 7. Grafica de la curva de calibración y de las soluciones problema.....	54
Figura 8. Instrumentos HANNA para hallar la DQO.....	76



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

### RESUMEN

El presente proyecto surgió y abordó el estudio sobre la problemática del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus universitario San Alberto Magno, el cual fue diseñando, construido y puesto en marcha varios años atrás. Se trató, por tanto, de desarrollar el control en cada uno de los puntos principales de la planta; determinando y analizando todas las posibles características fisicoquímicas del agua que circula a través de la planta.

El proyecto consistió evaluar y dar un diagnóstico de cómo se encontró la planta al momento de las primeras tomas de muestras, posteriormente se hacen todos los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua y dar una apreciación sobre el funcionamiento general de la planta.

Finalmente, se reunió y todos los logros de la evaluación, que se desplegaron en las actividades tales como levantamientos topográficos, ensayos de laboratorio, dejando una serie de conclusiones, diagnósticos y recomendaciones indispensables para un buen funcionamiento del sistema y mejoramiento del mismo.



### 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto trata del estudio y la evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), desarrollada con el fin de dar un punto de vista sobre el funcionamiento actual de la planta, llegar a una serie de conclusiones para encontrar una solución a los posibles problemas que actualmente esté presentando y que impiden un óptimo funcionamiento de sus procesos para cumplir con el tratamiento y con las propiedades fisicoquímicas de un agua residual doméstica. Se realizará una descripción detallada de cada uno de los procesos y unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus universitario San Alberto Magno, se presentará el levantamiento del plano arquitectónico no existente en la ficha técnica de la planta y se obtendrá un diagnóstico sobre el funcionamiento y operación del sistema de tratamiento.

En general, los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas deben estar entre 50 y 90 mg/L O<sub>2</sub> de DBO<sub>5</sub> y hasta 180 mg/l O<sub>2</sub> de DQO, la cantidad de sólidos suspendidos totales se estima que estén entre los 50 y 90 mg/l y los sólidos sedimentables por debajo de los 5 mg/l Según la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS)

Para el desarrollo del proyecto se realizara una serie de ensayos en las instalaciones de la universidad Santo Tomás con el acompañamiento del director del mismo, esto permitirá llegar al cumplimiento de los objetivos propuestos y el desarrollo de las conclusiones correspondientes sobre los resultados que se obtendrán con las actividades programadas para la ejecución del proyecto.



### 2. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO

El proyecto consiste en realizar un estudio para la evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con un sistema de lodos activados en aireación extendida, la planta que vamos a estudiar tiene una capacidad media diaria de 100 m<sup>3</sup>/día con una carga orgánica diaria de 24 kg DBO<sub>5</sub>/día, principalmente opera con una cámara de aireación y un Sedimentador o clarificador. (Ficha técnica PTAR ACUASEG-AC-LAE-100, ACUATECNICA LTDA)

Para la ejecución del proyecto se realizara una toma de muestras según RAS 2000 Titulo E.2.3 tanto en la entrada como en la salida de la planta, posteriormente se estudiaran en el laboratorio para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y el porcentaje de remoción de sólidos totales, se compararan los resultados con la respectiva normatividad RAS 2000 Titulo E.2.4 y E.2.5 y con lo propuesto en el diseño inicial dando cumplimiento al objetivo del proyecto. Adicionalmente y si es necesario se realizará un estudio de trazadores para verificar si el funcionamiento hidráulico de la planta cumpla con un sistema de lodos activados completamente mezclados.



### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Todo sistema de alcantarillado que quiera cumplir con la normativa actual existente en el país debe contar con una planta de tratamiento de aguas residuales, que asegure niveles mínimos de calidad del agua al hacer el vertimiento de esta a una fuente natural o en el caso de algunas entidades privadas al sistema de alcantarillado. La Universidad Santo Tomás en su calidad de entidad privada posee una planta de tratamiento en su sede del campus San Alberto Magno, en este proyecto de grado se evaluará la eficiencia de tal planta.

Es importante saber si una planta de tratamiento de aguas residuales está cumpliendo con la normativa existente, pues de lo contrario se pueden generar consecuencias negativas de tipo ambiental como contaminación de las especies que habitan el vertimiento y en la salud de las personas. Cada PTAR tiene diferentes etapas que deben ser evaluadas de forma individual con ensayos de laboratorio, que permiten determinar si están cumpliendo su objetivo o no, así mismo los resultados de estos laboratorios permiten proponer soluciones que mejoran la eficiencia de cada proceso. Además el desarrollo del proyecto se ejecuta con el fin de evaluar y reforzar la práctica y la teoría desarrolladas durante el curso de tratamiento de aguas residuales en el año 2014 semestre I.



### 4. OBJETIVOS

#### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) del campus universitario San Alberto Magno.

#### 4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Analizar el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) para verificar si cumple con lo requerido en la norma.
2. Analizar el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos (SS) tanto en la entrada como en la salida de la planta y establecer si el parámetro cumple con la norma.
3. Realizar un levantamiento topográfico para realizar el plano no existente en la ficha técnica de la planta.
4. Realizar varios ensayos de laboratorio en la Universidad Santo Tomás cumpliendo con la normativa propuesta para estos procesos.



### 5. MARCO REFERENCIAL

Este capítulo se divide en tres partes siendo la primera el marco histórico el cual contiene información relevante acerca de las aguas residuales, así como su respectiva evolución en el tratamiento de estas en Colombia a través del tiempo, ya que incide en gran medida en la salud de las personas.

La segunda parte consiste en el marco teórico, en el cual se incluye información general referente a las aguas residuales, además se desarrollan las metodologías y parámetros necesarios para la realización del diseño de cada uno de los elementos que constituyen la planta de tratamiento de aguas residuales.

La tercera parte la constituye el marco normativo, en él se detallan las normas y reglamentos que regulan en general el tratamiento de las aguas residuales y las descargas a los cuerpos receptores.

#### 5.1. MARCO HISTÓRICO

En el pasado nuestro país, la evacuación de las aguas residuales en la mayoría de municipios y comunidades se hacía vertiendo directamente estas aguas a ríos y corrientes mediante alcantarillado sanitario unitario. La acumulación de basura, desarrollo de olores y condiciones desagradables surgieron como consecuencia de este tipo de vertimiento. Para solucionar este problema se separó la evacuación de aguas residuales y aguas pluviales, y el tratamiento de aguas residuales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son el complemento requerido con el que debe contar un sistema de alcantarillado, pero en Bogotá la primera planta de tratamiento de aguas residuales fue la del Salitre. Su finalidad: saneamiento del río Bogotá, se tratan aguas residuales



del norte de la ciudad, generadas por más de dos millones de bogotanos, principalmente de hogares, oficinas, colegios y universidades, entre otros. El acueducto de Bogotá afirma que: “En 1994 se firmó el contrato entre el Distrito Capital y la firma Suez-Lyonnaise des Meaux - Ondeo Degrémont, S.A. para el diseño, construcción y operación de la PTAR Salitre por 30 años y 3 años de construcción y 27 de operación.” (ACUEDUCTO DE BOGOTA, 2010)

## 5.2. MARCO TEÓRICO

### 5.2.1. Plantas de tratamiento de agua residual aeróbicas

Las plantas aeróbicas se componen principalmente de un tanque de aireación llamado reactor en donde todos los lodos y microorganismos son mezclados para que luego las partículas se junten y se formen partículas más grandes llamadas floc biológicos, estos floc formados en este proceso se sedimentan en un tanque sedimentación o clarificador, el lodo sedimentado retorna al tanque de aireación y repite el proceso. (QUIMERK LTDA, 2010).

#### 5.2.1.1. *Procesos de oxidación biológica*

Los procesos de oxidación biológica son mecanismos mediante los cuales los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua residual, así mismo dichos microorganismos se alimentan de los nutrientes orgánicos presentes en el agua residual según la siguiente ecuación:

$$\text{Materia orgánica} + \text{Microorganismos} + \text{Nutrientes} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{Productos Finales} + \text{Nuevos microorganismos} + \text{Energía}$$

Esto sucede en presencia tres reacciones fundamentales, de síntesis, de respiración endógena u oxidación y de respiración oxidativa:



Las reacciones de síntesis o asimilación tienen como función la incorporación de nutrientes a los microorganismos, la reproducción de estos microorganismos es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que se incorporan en ellos.

Las reacciones de respiración endógena u oxidación consisten en transformar la materia orgánica asimilada y la acumulada en forma de sustancias de reserva de gases y agua, de esta manera al unir el agua residual con los microorganismos, estos metabolizan su propio material celular ocurriendo una destrucción de sus células, generando la sucesión de nuevas especies y haciendo que la materia orgánica presente en el agua disminuya notablemente. (METCALF Y EDDY, 1985).

#### *5.2.1.2. Procesos de nitrificación y desnitrificación*

Son una serie de procesos llevados a cabo por diferentes grupos de microorganismos donde se elimina la materia orgánica lo que conlleva a la eliminación del nitrógeno.

El proceso de nitrificación consiste en una oxidación del nitrógeno orgánico y amoniacal a su vez, como es el ejemplo de las aminas orgánicas, este nitrógeno se transforma primeramente en nitritos y luego se transforman en nitratos, pero, estas reacciones son ejecutadas solo por un grupo de bacterias especializadas distintas a las que degradan la materia orgánica.

El proceso de desnitrificación es básicamente el paso de los nitratos obtenidos en la nitrificación a nitrógeno atmosférico por acción de un grupo de bacterias llamadas desnitrificantes, estas bacterias actúan solamente cuando el pH está situado entre 7 y 8 con bastante carga orgánica. (METCALF Y EDDY, 1985).



### 5.2.2. Plantas de tratamiento de agua residual anaeróbica

Las plantas de tratamiento anaerobias consisten en la transformación y no destrucción de la materia orgánica presente en el agua residual en ausencia de oxígeno, como no hay presencia de un oxidante la transferencia de electrones permanece intacta en los gases generados por este proceso, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes. La eliminación de la materia orgánica requiere la intervención un grupo de bacterias facultativas capaces de reproducirse en ausencia de oxígeno, el proceso de degradación de la materia orgánica involucra cuatro pasos de transformación:

1. Hidrólisis: Involucra bacterias hidrolíticas.
2. Acidogénesis: involucra bacterias fermentativas.
3. Acetogénesis: Involucra bacterias acetogénicas, también realizado por microorganismos fermentadores que llevan los aminoácidos, azúcares, ácidos grasos, alcoholes, propionato y butirato a acetato, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.
4. Metanogénesis: Involucra bacterias metanogénicas.

El tratamiento inicia con la hidrólisis de todo el conjunto de polisacáridos, proteínas y lípidos, la cual es protagonizada por las bacterias hidrolíticas que generan enzimas extracelulares y producen moléculas de bajo peso molecular como lo son los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes y son transportador a través de una membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así compuestos reducidos como el etanol, además de H<sub>2</sub>



y CO<sub>2</sub>. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno.

Y finalmente como se muestra en la figura 1, las bacterias metanogénicas convierten el acetato en metano o reducen el CO<sub>2</sub> a metano, ésta última serie de transformaciones son ejecutadas por las bacterias metanogénicas. El metano es un compuesto producido en gran cantidad por el tratamiento anaerobio el cual se puede utilizar en procesos de combustión con el objetivo de reducción de costos en procesos industrializados. (RODRIGUEZ, 2002).

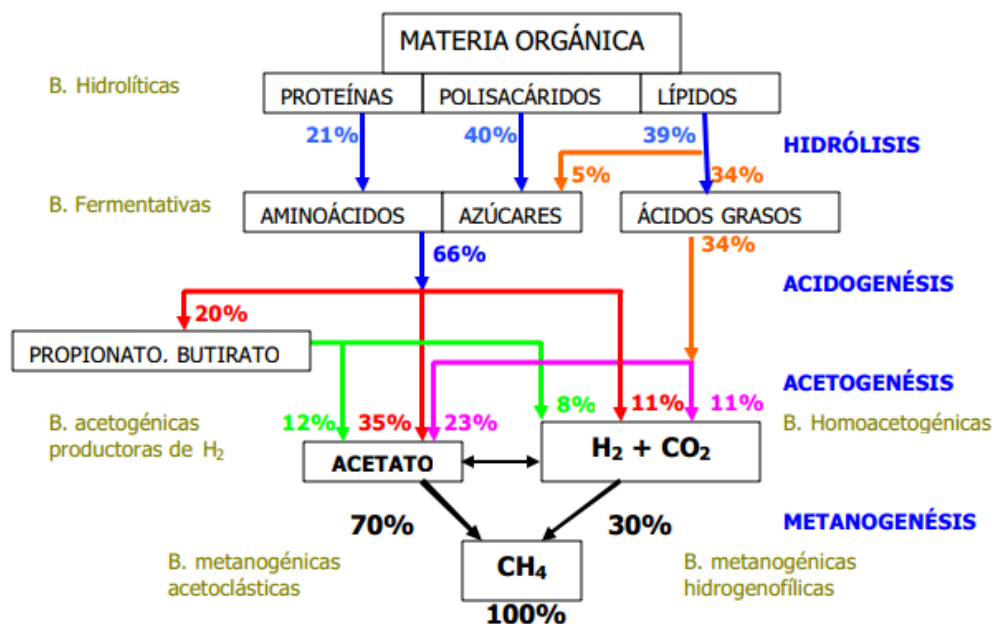


Figura 1. Etapas de la Digestión Anaerobia. Tomada de: (Madigan, 1997, van Haandel, 1994)

### 5.2.3. Parámetros fisicoquímicos del agua residual

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. La Tabla 1 muestra las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos, y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de



los parámetros que aparecen en la tabla están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

**Tabla 1. Datos típicos de Calidad Físico Química para Agua Residual Doméstica. (Tomada de WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Syed R. Qasim, Second Edition CRC Press 1999)**

Parámetro Físico Químico	descripción	Concentración Intervalo típico	
Sólidos Totales	Inorgánicos y orgánicos, sedimentables suspendidos y materia disuelta	375-1800	730
Sedimentables, ml/L	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que sedimentan durante una hora en un cono Imhoff	5-20	10
Suspendidos Totales (SST), mg/L	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos	120-360	230
No volátiles (SSF), mg/L	Porción de sólidos no combustibles o minerales, de los sólidos suspendidos totales (SST)	30-80	55
Volátiles (SSV), mg/L	Componentes orgánicos o combustibles (a $550 \pm 50$ °C) del total de sólidos suspendidos (SST)	90-280	500
Disueltos Totales (SDT), mg/L	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que no son filtrables, materia más pequeña que una milimicra ( $\mu\text{m}$ ) caen en esta categoría	250-800	500
No volátiles (SDF), mg/L	Porción de sólidos no combustibles o minerales, de los sólidos disueltos totales (SDT)	145-500	300
Volátiles (SDV), mg/L	Componentes orgánicos o combustibles (a $550 \pm 50$ °C) del total de sólidos disueltos (SDT) <sup>b</sup>	90-280	500
DBO <sub>5</sub> mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno (5 días 20 °C). Representa la fracción biodegradable, de los compuestos orgánicos. Mide la cantidad de	110-400	210



# UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

	oxígeno disuelto empleado por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en 5 días.		
DQO, mg/L	Demanda química de oxígeno. Mide la concentración de materia orgánica. Representa la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica con un oxidante fuerte (dicromato de potasio) bajo condiciones ácidas	200-780	200
COT, mg/L	Carbono Orgánico Total, medida de la cantidad de Materia Orgánica, determinada por la conversión de carbono orgánico a CO <sub>2</sub> . Se hace en un horno a alta temperatura, en presencia de un catalizador. Se mide cuantitativamente la presencia de CO <sub>2</sub>	80-290	150
Nitrógeno Total (NT), mg/L	El nitrógeno Total incluye nitrógeno orgánico, amonio, nitritos y nitratos. El Nitrógeno, y el Fósforo junto con el carbono, más otros elementos traza sirven como nutrientes, aceleran el crecimiento de plantas acuáticas en aguas naturales	20-85	40
Nitrógeno Orgánico (NO), (como N), mg/L	Es el nitrógeno ligado a las proteínas, aminoácidos y urea	8-35	20
Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N), (como N), mg/L	El nitrógeno del amoniaco se produce primero en la etapa de descomposición de nitrógeno orgánico	12-50	20
Nitrito y Nitrato (como N), mg/L	Los nitritos y los nitratos son la forma de nitrógeno más elevado número de oxidación. Estas dos formas de nitrógeno están ausentes de las aguas residuales crudas.	0-poco	0
Fósforo Total (PT), mg/L	El fósforo total existe en forma orgánica e inorgánica, el fosforo en aguas naturales es fuente de la eutroficación	4-8	6
Fósforo Orgánico	El fósforo orgánico se encentra en	1-3	2



(como P), mg/L	proteínas y aminoácidos		
Fosforo Inorgánico (como P), mg/L	La forma inorgánica de fosforo existe como ortofosfato y polifosfato	3-6	4
pH	pH indica la naturaleza ácida o básica del agua, una solución es neutra a pH 7	6,5-7,5	7,0
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	La alcalinidad en el agua residual, se debe a la presencia de los iones bicarbonato, hidroxilo y carbonato	50-200	100
Dureza (como CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	La dureza en el agua residual se debe principalmente a los iones calcio y magnesio. La dureza del agua residual obviamente depende de la dureza del agua potable	180-350	240
Cloruros, mg/L	Los cloruros en el agua residual provienen de los desperdicios humanos, y de los suavizantes domésticos	30-100	50
Aceites y Grasas, mg/L	Estos son solubles en porciones de materia orgánica en hexano. Su fuente son las grasa y aceites empleadas en los alimentos	50-150	100

En la tabla 1 se describen brevemente los constituyentes físicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes en el agua residual, es importante conocer los parámetros físicos del agua residual para garantizar un óptimo tratamiento.



Tabla 2. Calidad del Agua Parámetros físicos agua residual doméstica. (Tomada de WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Syed R. Qasim, Second Edition CRC Press 1999)

Parámetro	Descripción
Temperatura	La temperatura del agua es ligeramente superior, que la del agua potable. La temperatura tiene efecto sobre la actividad microbiana, solubilidad de gases y viscosidad. La temperatura del agua varía ligeramente con el clima, pero en general es mayor que la temperatura del aire, durante la mayor parte del año, y solamente es menor en los meses de verano más cálidos
Densidad	La densidad del agua residual doméstica es la misma que la del agua potable ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )
Color	El agua residual es ligeramente gris, rancio o séptico agua residual es gris oscura o negra
Olor	El agua residual doméstica tiene un olor jabonoso y aceitoso, el cual de cualquier modo es desagradable. El agua residual séptica, tiene olor putrefacto ocasionado por el sulfuro de hidrogeno, indol y skatol, más otros productos de la descomposición. Los residuos líquidos industriales imparten otro tipo de olores. Por esta razón las PTAR presentan objeción por parte de los vecinos que tiene que soportar estos olores a su alrededor
Turbiedad	El agua residual presenta turbiedad ocasionada por la gran cantidad de sólidos suspendidos, en general las agua residuales fuertes presentar alta turbiedad



## 5.2.4. DBO (demanda bioquímica de oxígeno)

La DBO se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en el agua residual.

Es el parámetro indispensable cuando se quiere conocer la calidad del agua de alguna fuente hídrica. El proceso se determina tomando una muestra de agua y manteniéndola a una temperatura de 20°C en un periodo de 5 días a esta se le conoce como DBO<sub>5</sub>.

La DBO se debe a 3 clases de materiales

- Materia orgánica de carbono usada como fuente de alimentación de los organismos aerobios.
- Presencia de nitrógeno oxidable procedente de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico.
- Compuestos reductores químicos, como sulfitos, sulfuros y el ión ferroso que son oxidados por oxígeno disuelto.

**Tabla 3. Datos típicos de la DBO dependiendo el tipo de agua (Tomada de: “el agua en el medio ambiente” Raudel Ramos Olmos, 2003)**

Valores típicos de DBO <sub>5</sub>	
Tipo de agua	Concentración
Agua potable	0.75 a 1.5 ppm
Agua poco contaminada	> 5 ppm
Agua Residual domestica	100 a 400 ppm



### *5.2.4.1 Determinación de oxígeno disuelto y DBO*

La determinación del oxígeno disuelto (OD) es muy importante porque es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas en el medio. Por otra parte la determinación de oxígeno disuelto sirve como base para cuantificar la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), el grado de contaminación del agua presente en las plantas de tratamiento de aguas residuales o de cualquier medio expuesto a contaminación y tasas de aireación en los procesos de purificación del agua. La Dra. Marina Olivia franco Hernández en su manual de laboratorio afirma que: “Los valores de O.D. en aguas residuales son bajos y disminuyen con la temperatura. El oxígeno libre en solución, especialmente cuando está acompañado de  $CO_2$  es un agente de corrosión importante del hierro y el acero. La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general aguas residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la  $DBO_5$  se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas residuales domésticas, el valor de la  $DBO_5$  representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables”.



Tabla 4. Lineamientos para la calidad del agua. (Tomada de: “Guías para la calidad del agua potable” organización mundial de la salud. 2006)

Concentración de OD (ppm)	Calidad del agua
0,0 - 4,0	<b>Mala</b> Algunas poblaciones de peces y macro-invertebrados empezaran a bajar
4,1 - 7,9	<b>Aceptable</b>
8,0 - 12,0	<b>Buena</b>
12,0+	<b>Repita la prueba.</b> El agua puede airearse artificialmente

En Concentraciones bajas de OD como 4 ppm o menos, algunas poblaciones de peces y macro-invertebrados empiezan a morir. Aunque hay especies como los gusanos de lodo y las sanguijuelas pueden sobrevivir se encuentran principalmente donde hay materia en descomposición. Por eso son importantes las concentraciones altas de OD para que las bacterias usen el oxígeno para descomponer desechos orgánicos. Un OD por encima de 9 ppm se considera bueno y sería el ideal.

#### 5.2.5. Lodos activados

El proceso de lodos activados, es un tratamiento biológico que consiste en la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y el lodo con unos microorganismos seleccionados.

Los microorganismos oxidan la materia orgánica presente en el agua residual, la cual les sirve de sustrato alimenticio disminuyendo la carga orgánica contaminante. Lo que hace es formar una



película que proporciona un medio con oxígeno y alimento para su desarrollo. Entonces generando una reacción en cadena multiplicándose rápidamente formando la biomasa que oxida la materia orgánica y así completando el tratamiento biológico. Estos microorganismos pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos. Los aerobios son los que crecen y se desarrollan con oxígeno presente en el reactor en que se encuentran y los anaerobios no necesitan la presencia de oxígeno para reproducirse y alimentarse de la materia orgánica.

Luego del tanque de lodos activados pasa a uno donde se sedimentará la biomasa, esta biomasa pasa por debajo del tanque y se recircula para mantener el reactor funcionando.

En la siguiente tabla podemos encontrar una explicación de varios métodos de lodos activados dependiendo el modelo de flujo y el sistema de aireación da una eficiencia en la remoción de DBO.



**Tabla 5. Variaciones más comunes en el proceso de lodos activados y características de los procesos. (Tomada de Componentes y sistemas para el tratamiento biológico de las aguas residuales)**

<i>Proceso</i>	<i>Modelo de Flujo</i>	<i>Sistema de aireación</i>	<i>% eficiencia en remoción de DBO</i>	<i>Comentarios</i>
Convencional	Pistón	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Muy adecuado para aguas domésticas de bajo contenido de DBO. El proceso es afectado por cargas de aguas con tóxicos.
Mezclado Completo	Flujo continuo en tanque con agitación	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Se aplica en diferentes tipos de aguas. Resiste el impacto de cargas de aguas con tóxicos, pero es susceptible de originar bacterias filamentosas.
Aireación por Pasos	Pistón	Difusores de Burbuja	85-95%	Amplio rango de aplicación
Aireación Modificada	Pistón	Difusores de Burbuja	60-75%	Se emplea cuando se debe dar un tratamiento intermedio al agua y no es objetable la presencia de células en el agua tratada.
Aireación Extendida	Pistón	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	75-95%	Se usa para pequeñas comunidades, en plantas paquete y donde se requiere un efluente bien nitrificado. El proceso es muy flexible.
Aireación de Alta Velocidad	Flujo continuo en tanque con agitación	aireadores Mecánicos	75-90%	Aplicaciones generales, con aireadores de turbina, donde es importante controlar el tamaño del floculo producido.
Proceso con Oxígeno Puro	Flujo continuo en tanque con agitación	aireadores Mecánicos	85-95%	Se emplea para aguas con muy alto contenido de material orgánico, para aguas industriales o cuando el espacio disponible es limitado.
Diques de Oxidación	Pistón	aireadores Mecánicos del tipo cepillo	75-95%	Se usa en pequeñas comunidades y en lugares donde el área disponible es de gran tamaño. El proceso es flexible.
Reactor Intermitente	Flujo intermitente en tanque con agitación	Difusores de Burbuja o aireadores Superficiales	85-95%	Se usa en pequeñas comunidades donde el espacio disponible es limitado. Se puede remover nitrógeno y fósforo.



Tabla 6. Parámetros de caracterización de los procesos de lodos activados con sus variantes más comunes.

(Tomado de Componentes y sistemas para el tratamiento biológico de las aguas residuales)

Tipo de Proceso	E	$\theta_c$	$\theta$	F/M	CVA	X	$Q_r/Q_o$
Convencional	85-95	5-15	4-8	0.2-0.4	0.3-0.6	1500-3000	0.25-0.5
Aireación Escalonada	85-95	5-15	4-8	0.2-0.4	0.3-0.6	1500-3000	0.25-0.5
Reactor de Mezclado Total	85-95	5-15	3-5	0.2-0.6	0.8-2.0	3000-6000	0.25-1.0
Aireación por Pasos	85-95	5-15	3-5	0.2-0.4	0.6-1.0	2000-3500	0.225-0.75
Aireación Modificada	60-75	0.2-0.5	1.5-3.0	1.5-5.0	1.2-2.4	200-500	0.05-.0.15
Aireación Extendida	75-95	20-30	18-36	0.05-0.15	0.1-0.4	3000-6000	0.75-1.5
Aireación de Alta Eficiencia	75-90	5-10	0.5-2	0.4-1.5	1.0-1.6	4000-10000	1.0-5.0
Oxígeno Puro	85-95	8-20	1-3	0.25-1.0	1.6-3.3	6000-8000	0.25-0.50

E=Eficiencia en remoción de DBO %

$\theta_c$  Tiempo de retención de las células días

$\theta$ =Tiempo de Retención en el reactor (hrs)

F/M Kg DBO/día/Kg Biomasa

CVA=Carga Volumétrica Aplicada Kg DBO/día/mt<sup>3</sup>

X=Concentración de Biomasa/Unidad de Volumen de Digestor

$Q_r/Q_o$ =Relación de recirculación de lodos

### 5.2.6. Aireación

La aireación es el proceso en el cual se consume la mayor cantidad de energía en el tratamiento de aguas residuales por lo cual es costoso, es muy utilizado en las plantas de tratamientos por lodos activados, antes de él debe tener un tanque de homogenización donde se busca que no hayan picos en la calidad del agua, consiste en transferir oxígeno del ambiente a la fase líquida por medio de difusores sumergidos. Para la selección del tipo de aireación dependerá de la demanda de oxígeno para escoger un rendimiento sin exceder el consumo de energía, entonces aquí es donde se busca la eficiencia tener un equipo que supla la necesidad de demanda de oxígeno y gaste poca energía.



### 5.2.6.1. Clasificación de aireadores

Dependerá de la forma y características de cada planta se clasifican dependiendo de cómo incorpore el oxígeno en el agua existen tres tipos

- Mecánicos (baja velocidad y alta velocidad)
- Difusión
- Híbridos

Los sistemas de baja velocidad están compuestos por aspas que asemejan un agitador, trabajando a una velocidad (20-100rpm) pero con una torsión alta puede tener distintas geometrías, pero es un mecanismo poco eficiente, porque necesita más energía para realizar la mezcla. Su mantenimiento es más costoso debido a la gran cantidad de partes móviles que tiene respecto al de alta velocidad y al estar sometido a esfuerzos y vibraciones mayores hace que genere mantenimientos con mayor frecuencia.

Los sistemas de alta velocidad son motores eléctricos (900-1800rpm) con geometrías más pequeñas se asemejan a un tornillo, funciona como una bomba impulsando el aire hacia la superficie, en este sistema es difícil mantener la condición en el nivel del agua no dejando suspender los sólidos y no mezclando bien, al ser más sencillo tiene sus ventajas al operar pues son de menor tamaño y se encuentran en la mayoría de plantas flotando con lo cual cualquier arreglo puede hacerse rápido. Este mecanismo a pesar de que no es muy efectivo, su mantenimiento y su capacidad de transferir oxígeno con poca energía lo hace ideal para el tratamiento con lodos activados.



Los difusores tienen una fase líquida continua y una discontinua gaseosa, lo cual dependerá del tamaño de las burbujas dentro del líquido el cual tendrá un tiempo de retención dependiendo de la profundidad del difusor y la capacidad de bombeo de la masa difundida en el líquido.

Existen distintos tipos dependiendo el medio poroso (cerámicos, plásticos y membranas) o por configuración en el medio (planos, tubos, domos, orificios y jets), estos tienen una buena transferencia de oxígeno, pero su demanda de energía debido a la caída de presión generada y tiene que ser un cálculo de diseño efectivo para no sub o sobre dimensionar la red de los difusores.

Al estar sumergido tendrá un difícil acceso para el mantenimiento de la red de difusores. Si los difusores son efectivos la mezcla será buena con la ventaja sobre los sistemas mecánicos que no ejercen esfuerzos cortantes lo cual es ideal para el sistema de lodos activados porque no destruye el floc biológico haciéndolo sedimentable.

Los sistemas híbridos reúnen las características de los dos sistemas anteriores, y al tener tantos equipos disponibles para su uso y se acoplan bien a cualquier necesidad específica generando una gran transferencia de oxígeno al agua ofreciendo un rendimiento muy alto.(SERQUIMSA S.A.)

### 5.2.7. Sedimentación

El proceso de sedimentación en aguas residuales se utiliza para separar los sólidos en suspensión presentes en la misma, la sedimentación es básicamente una variación de peso específico entre las partículas sólidas que se van al fondo del tanque clarificador y las partículas líquidas que



quedan en la superficie, las cuales forman el agua residual y acaba con el depósito de dichas partículas que están en suspensión.

En algunos casos la sedimentación puede producirse en varios puntos del proceso de tratamiento, por ejemplo, en una planta típica de lodos activados la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento: 1) En el pretratamiento en los desarenadores donde la materia inorgánica (arena) se elimina del agua residual; 2) en los clarificadores o sedimentadores primarios que preceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos orgánicos se separan; 3) en los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos se separan del agua residual tratada (ROMALHO, 1996).

### *5.2.7.1. Tipos de sedimentación*

Para el proceso de sedimentación existen tres tipos o mecanismos que dependen de las propiedades físico-químicas de los sólidos presentes en suspensión.

1. **Sedimentación discreta:** es un proceso en el que las partículas presentes en el agua residual se sedimentan sin ningún tipo de coalescencia, es decir, que las propiedades físicas tales como tamaño, forma, peso específico no cambian durante el proceso.
2. **Sedimentación con floculación:** Las partículas a medida que van viajando hacia el fondo del tanque se van agrupando formando flocs de diferentes tamaños, éste proceso es típico en los clarificadores o sedimentadores primarios.
3. **Sedimentación por zonas:** un conjunto de partículas forman una manta que sedimenta como una masa total formando una interface con la fase líquida.



### 5.2.8. Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos se definen como el contenido de materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103°C y 105°C, como se muestra en la figura 2. No se puede hablar de materia sólida a aquella que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor, existe un tipo de sólidos los cuales son llamados sólidos sedimentables y como su nombre lo indica estos sólidos sedimentan en un recipiente cónico llamado cono de Imhoff durante un periodo de 60 minutos, se expresan en unidades de mg/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

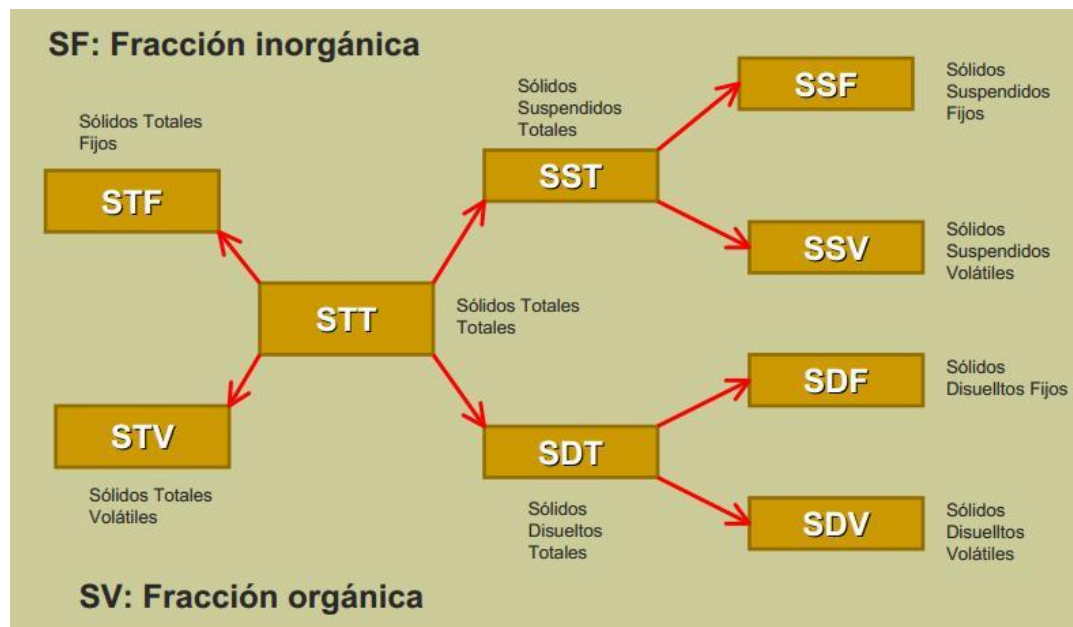


Figura 2. Clasificación de los sólidos en las aguas residuales. (Collazos, 2008).

Al residuo de la evaporación se le conoce como sólidos totales y pueden clasificarse en filtrables y no filtrables haciendo pasar un volumen determinado de agua por un filtro generalmente de



fibra de vidrio con un tamaño nominal de poro de 1,2 micras ( $10^{-6}$ m), pero también es empleado un tipo de filtro de policarbonato y el uso de ambos filtros puede presentar una serie de diferencias las cuales afectan la estructura del filtro.

Existe una fracción de sólidos que filtra la cual corresponde a sólidos coloidales y disueltos, dicha fracción coloidal está compuesta por partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 micra, adicionalmente están compuestos por partículas orgánicas e inorgánicas y no es posible eliminar ésta fracción por procesos de sedimentación. La oxidación biológica es uno de los procesos más eficientes para la eliminación de la fracción orgánica en el agua residual, aunque se puede realizar la coagulación acompañada de la sedimentación (ETAP, 2010).

### 5.3. MARCO NORMATIVO

Normas técnicas colombianas

La normativa de vertimientos busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua natural o artificial de agua dulce y al sistema de alcantarillado público, el principal decreto es el 3930 con el cual se regula las sustancias contaminantes dividido en agua residual domestica (ARD) y agua residual no domestica (ARnD) estableciendo los valores máximos permitidos de vertimiento por actividad.

Según el RAS 2000 Título E tratamiento de aguas residuales existen dos normas importantes en nuestro país que son:

- NTC-ISO 5667-10 Calidad del agua. Muestreo. Muestreo de aguas residuales.



El objetivo de esta norma es variado pero de los más importantes es determinar la concentración de contaminantes en una corriente de aguas residuales; determinar la carga de contaminantes que transporta una corriente de aguas residuales; Proporcionar datos para la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales; realizar ensayos para determinar si en una descarga determinada se mantienen los límites de concentración; realizar ensayos para determinar si en una descarga determinada se mantienen los límites de carga; Suministrar datos para el avalúo de impuestos por descarga de aguas residuales. Es esencial un programa de muestreo bien establecido para poder realizar un buen análisis de las aguas residuales realizar una verdadera evaluación de los beneficios y eficiencia de nuestras plantas de aguas residuales; en general, los objetivos del muestreo son el control de la calidad o la caracterización de la calidad.

Constitución, Leyes, decretos y resoluciones:

- Decreto 2811 de 1974, Código de recursos naturales renovables.
- Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos.
- Ley 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
- Resolución número 1096 de 2000, Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS.
- CONPES 3177 de 2002, Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.
- Decreto 3440 de 2004, Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

- Decreto 3930 de 2010, Por la cual se establecen las normas y los valores límite máximos permisibles de parámetros en vertimientos puntuales a sistemas de alcantarillado público y a cuerpos de aguas continentales superficiales de generadores que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicio y se dictan otras disposiciones.



### 6. METODOLOGÍA

Para comenzar con el desarrollo del proyecto se realizaron estudios previos de viabilidad, teniendo en cuenta la necesidad o el fin para el que esté encaminado, posteriormente con la realización de visitas a la planta se desarrolló una recolección de datos y especificaciones técnicas las cuales fueron de vital importancia en la preparación y ejecución de los ensayos posteriores a la toma de muestras realizadas durante las visitas, estos ensayos se realizaron en los laboratorios ubicados dentro de las instalaciones de la Universidad Santo Tomás y estuvieron acompañados de la colaboración del ingeniero asesor del proyecto de grado y personal de laboratorio. Luego de obtener los resultados de dichos ensayos de laboratorio se hizo el análisis de la información y se determinó lo propuesto en los objetivos y se dieron una serie de diagnósticos y recomendaciones para que el funcionamiento de la planta sea el más apropiado controlando los parámetros de DBO DQO, SST y fosfatos para garantizar el óptimo funcionamiento de esta.

Adicional a esto se hizo el correcto levantamiento topográfico para desarrollar un plano en planta y en perfil de lo que hoy es la planta de tratamiento del campus.



## 6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA



Foto 1. Planta de tratamiento de aguas residuales del campus San Alberto Magno. Fuente: Los autores

En la investigación de la planta encontramos una ficha técnica (PTAR ACUASEG-AC-LAE-100, ACUATECNICA LTDA) con datos de diseño los cuales presentamos a continuación:

CAPACIDAD PROMEDIO DIARIO	100 m <sup>3</sup> /día
CARGA ORGÁNICA DIARIA	24 Kg DBO <sub>5</sub> /día
CARGA DE SOLIDOS TOTALES	25 Kg/día
FLUJO DE AGUA RESIDUAL POR USUARIO DÍA	70 Lt/persona/día
CARGA DIARIA POR HABITANTE	16 gr DBO <sub>5</sub> /día



**DIMENSIONES GENERALES DEL TANQUE DE AIREACIÓN**

LARGO	7.00 m
ANCHO	4.00 m
PROFUNDIDAD	3.00 m
ALTURA DE COLUMNA DE AGUA	2.86m
AREA SUPERFICIAL	28 m <sup>2</sup>
CARGA VOLUMETRICA	0.34 Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>

$$VOLUMEN EFECTIVO DE USO = 4m * 7m * 2.86m = 80m^3$$

VOLUMEN EFECTIVO DE USO	80 m <sup>3</sup>
VOLUMEN REAL DEL TANQUE	96 m <sup>3</sup>

$$TIEMPO DE RETENCION PROMEDIO = \frac{80m^3}{100 \frac{m^3}{dia}} = 0.8dias = 19.2hr$$

TIEMPO DE RETENCION PROMEDIO	19.2 hr
------------------------------	---------

**DIMENSIONES GENERALES DEL TANQUE SEDIMENTADOR**

LARGO	4.00 m
ANCHO	2.00 m
PROFUNDIDAD	3.00 m



ALTURA DE COLUMNA DE AGUA	2.75m
AREA SUPERFICIAL	8 m <sup>2</sup>
TASA DE CARGA SUPERFICIAL	3 kg/m <sup>2</sup> -día
$VOLUMEN\ EFECTIVO\ DE\ USO = 4m * 2m * 2.75m = 22m^3$	
VOLUMEN EFECTIVO DE USO	22 m <sup>3</sup>
VOLUMEN REAL DEL TANQUE	32 m <sup>3</sup>
TIEMPO DE RETENCION PROMEDIO	4 hr

## 6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

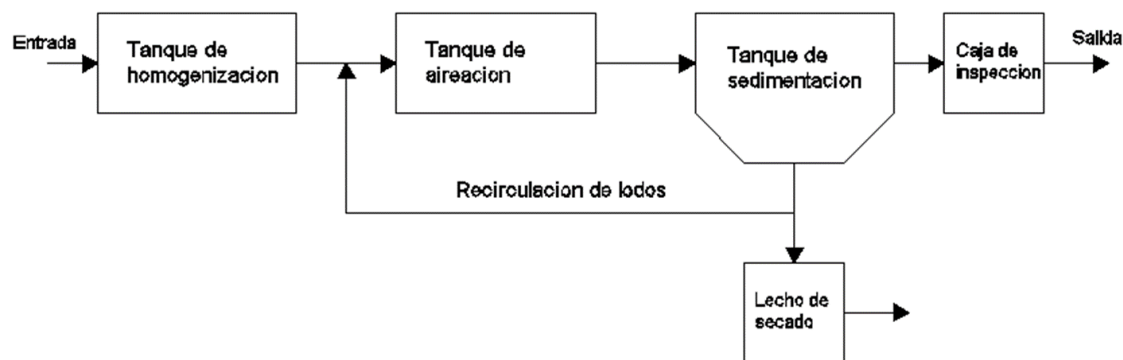


Figura 3. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento. Fuente: Los autores

El proceso en la planta de tratamiento de agua residual se conoce como lodos activados con aireación extendida, que posee unos periodos de aireación alrededor de 18 a 36 horas, su eficiencia dependerá del tipo de aireador y características fisicoquímicas del agua, generalmente para agua residual doméstica funciona bien, Los procesos involucrados o los componentes de la planta es principalmente un aireador y un clarificador secundario.



**Foto 2. Pozo de cribado de sólidos mayores a 0.5 pulgadas e igualación de carga. Fuente: Los autores**

En la planta se tiene un punto donde se realiza un cribado, en el cual se remueven los sólidos de un tamaño mayor a 0.5 pulgadas y posteriormente pasa al proceso de aireación donde se mezcla el agua residual con los lodos recirculados del sedimentador para realizarles una mejor aireación dándoles el doble de tiempo de aireación a los lodos que son recirculados oxidando la materia orgánica para que se produzca menores cantidades de lodo logrando mayor tiempo de residencia de los sólidos sin aumentar el tamaño del sistema, alcanzándose la misma remoción con una planta de menor tamaño.. Este valor promedio es de 0.3 Kg lodo/Kg de  $DBO_5$ \*día en el aireador, aunque el valor de las cargas pueda aumentar no cambiara el resultado del proceso de aireación y su estabilidad en presencia de cargas irregulares.



Foto 3. Tanque de aireación salida a la derecha de la foto. Fuente: Los autores



Foto 4. Entrada tanque de aireación. Fuente: Los autores



Foto 5. Tanque Sedimentador. Fuente: Los autores

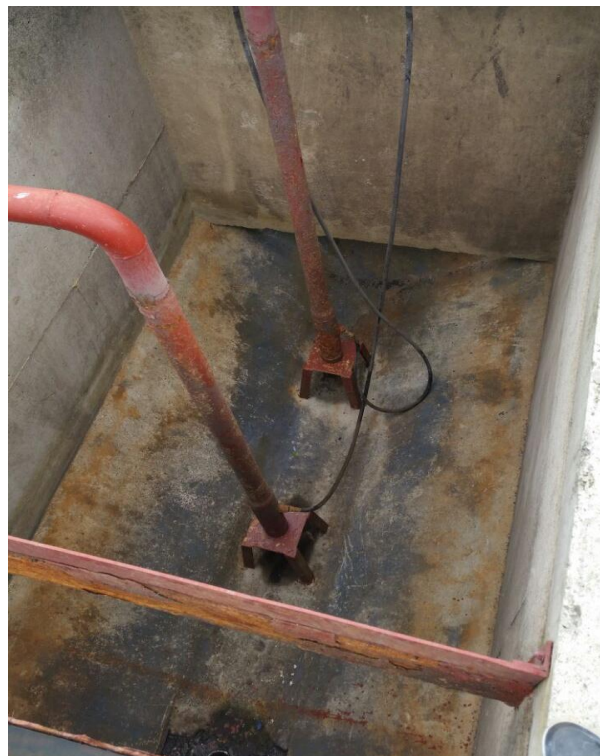


Foto 6. Detalle Sedimentador bombas de recirculación. Fuente: Los autores



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

El proceso se vuelve efectivo al remover los lodos que quedan en el fondo con regularidad por medio de una bomba de succión que los recircula hacia el aireador de lo contrario generan resuspensión generando desbordamiento del sistema, llevándoselos al efluente haciendo el proceso ineficiente porque se acumula los lodos y permite que sean arrastrados con el efluente deteriorando la calidad , estos lodos son transportados por una tubería para realizarles un proceso de secado para eliminarles la mayor cantidad de agua en los lechos de secado.



**Foto 7. Lecho de secado. Fuente: Los autores**



**Foto 8. Caja de inspección de salida. Fuente: Los autores**



## 6.3 PUNTOS DE MUESTREO

En general se recomienda un muestreo en la entrada y la salida para verificar la funcionalidad de toda la planta, adicional a estos se hicieron dos muestreos más para verificar en sitios específicos los parámetros en la Planta. De cada punto de muestreo se tomaron dos muestras para un total de 8 muestras por muestreo para valorar Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Fosfatos y sólidos suspendidos.



Foto 9. Botellas Winkler con muestras. Fuente: Los autores

1. Entrada de agua al tanque de aireación

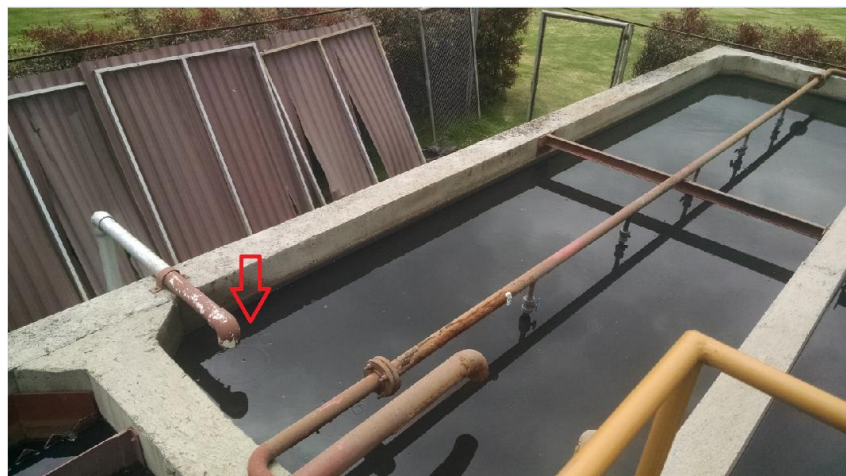


Foto 10. Entrada al aireador. Fuente: Los autores.



2. Salida de agua del tanque de aireación



Foto 11. Salida del aireador. Fuente: Los autores

3. Sedimentador



Foto 12. Sedimentador. Fuente: Los autores



#### 4. Salida al Alcantarillado



Foto 13. Salida al alcantarillado. Fuente: Los autores

#### 6.4 PREPARACIÓN DE REACTIVOS

- **Reactivo alcalino de yoduro de potasio:** Pesar 25 g de Hidróxido de sodio (NaOH) y 6,75 g de Ioduro de potasio (KI) diluir y aforar en 50 ml de agua destilada.
- **Solución de sulfato manganeso:** Pesar 16,25 g de Sulfato manganeso hidratado ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) diluir y aforar en 50 ml de agua destilada.
- **Solución de tiosulfato de sodio 0,01n:** Pesar 1,24 g de Tiosulfato de sodio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) diluir y aforar en 500 ml de agua destilada.
- **Solución de almidón al 10%:** Se pesan 10 g de almidón soluble diluir y aforar en 100 ml de agua destilada.



## 6.5 PRUEBA DE REACTIVOS

Para la prueba de los reactivos y saber que funcionan y quedaron correctamente preparados se toman 100 ml de agua del estanque de prueba que se encuentra aireando en el laboratorio de la universidad Santo Tomás todo el día y presenta un OD de 12 mg/L. Y a estos 100 ml se le agregan 2 ml de solución sulfato manganoso ( $\text{MnSO}_4$ ) a una concentración de 2.2M y 2 ml de álcali-yoduro se forma un precipitado de color lechoso de hidróxido manganoso  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  indicando la ausencia de oxígeno. En el caso de que haya oxígeno el manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) se oxida a su estado máximo ( $\text{Mn}^{4+}$ ) y el precipitado se torna de color marrón debido a la formación de hidróxido mangánico.



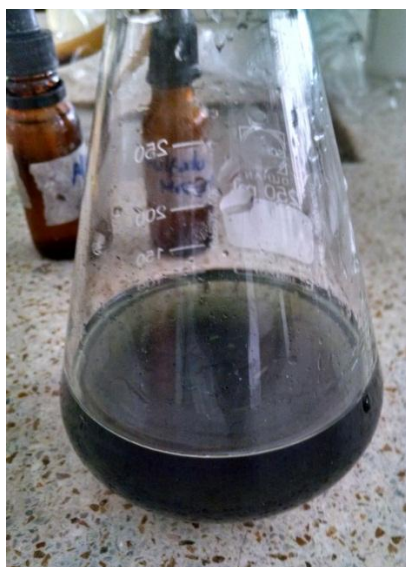
Foto 14. Muestra de agua con Sulfato manganoso y Álcali-Yoduro. Fuente: Los autores

Agregando el ácido sulfúrico concentrado el medio se torna ácido y el precipitado de Hidróxido Mangánico  $\text{Mn}(\text{OH})_4$  se disuelve formando Sulfato mangánico  $\text{Mn}(\text{SO}_4)_2$  quien oxida el Yoduro de Potasio (KI) a Yodo ( $\text{I}_2$ ).



**Foto 15. Muestra de agua con ácido sulfúrico. Fuente propia.**

Ahora el yodo producido en la reacción, en presencia del indicador de almidón, forma un complejo de color azul intenso. El almidón se utiliza como indicador en las reacciones de óxido reducción y reacciona fácilmente con el yodo. Al cambiar de color determina con exactitud el punto de equivalencia que es cuando la cantidad de sustancia valorante agregada es equivalente a la cantidad presente de sustancia a analizar en este caso entre el Yodo y el Oxígeno.



**Foto 16. Muestra de agua con almidón. Fuente: Los autores**



La cantidad de Yodo ( $I_2$ ) liberado es químicamente equivalente al Oxígeno ( $O_2$ ) presente en la muestra. Los equivalentes gastados de solución valorada de Tiosulfato de Sodio ( $Na_2S_2O_3$ ) son iguales a los equivalentes de Yodo presentes en la solución.



Foto 17. Muestra de agua después de la titulación con tiosulfato. Fuente: Los autores.

- Cálculos

ECUACIONES	LEYENDA
$N = \frac{\text{Equivalentes}}{\text{volumen (l)}}$	<p>N = Normalidad (Equivalentes gramo por volumen de <math>Na_2S_2O_3</math>)</p> <p>Equivalentes = equivalentes de <math>Na_2S_2O_3</math></p> <p>V = Volumen gastado de <math>Na_2S_2O_3</math> (litros)</p>
$PM = \frac{M \text{ Solute}}{PE}$	<p>PM = Peso molecular</p> <p>M Solute = Masa de soluto</p> <p>PE = Peso equivalente</p>
<p>Equiv <math>Na_2S_2O_3</math> = Equiv <math>I_2</math> = Equiv <math>O_2</math></p>	
$\text{equivalentes } O_2 = \frac{\text{Masa } O_2}{\text{Masa equivalentes } O_2}$	<p>Masa <math>O_2</math> = Masa de Oxígeno expresada en mg</p> <p>Masa Miliequiv <math>O_2</math> = Masa miliequivalente del oxígeno expresado en mg/mequiv</p>
$\frac{mg}{l} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen (l)}}$	<p>V = Volumen de la muestra de agua expresada en litros</p> <p>mg/L <math>O_2</math> = ppm <math>O_2</math></p>

Figura 4. Ecuaciones para cálculos. Fuente: Metcalf y Eddy, 189



## 6.6. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL PLANO DE LAS PLANTA

Para realizar los planos la medida de la planta fue el contorno (por fuera) sin mucho detalle ya que para realizar un levantamiento óptimo se necesita que la planta este vacia y así poder ingresar a ella para tomar las respectivas medidas, esto se puede lograr cuando la planta esta en mantenimiento.

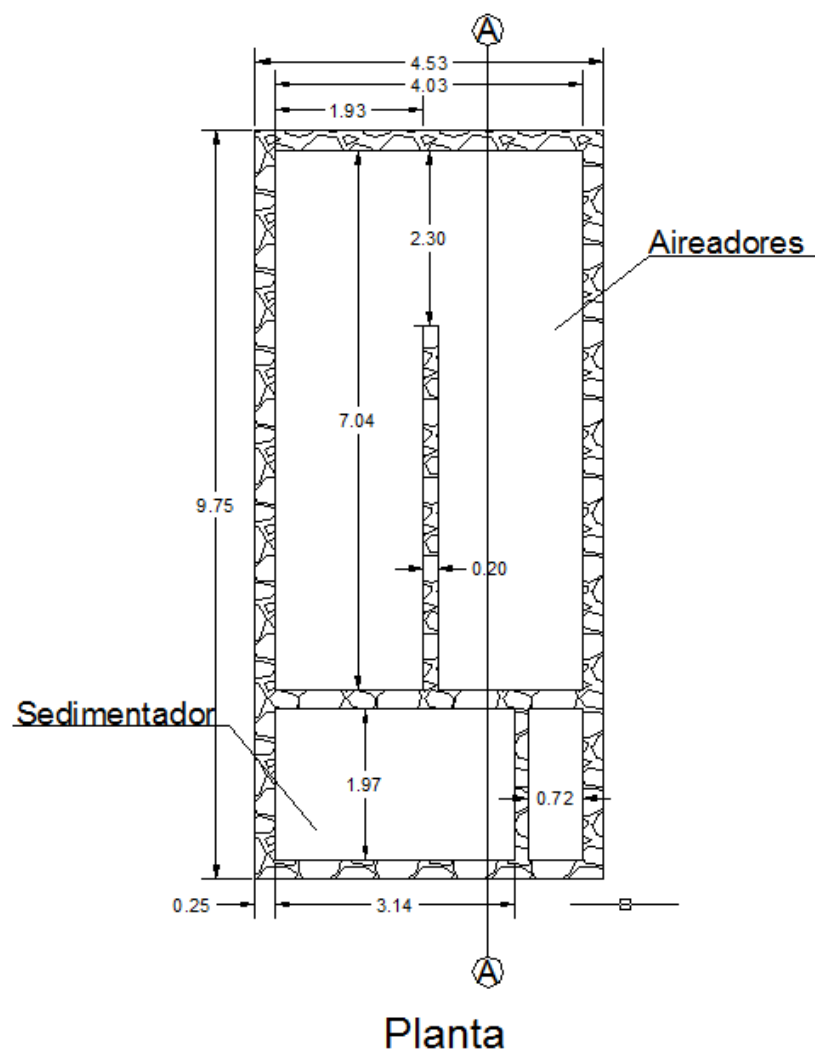


Figura 5. Plano planta del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus en metros (m). Fuente: Los Autores

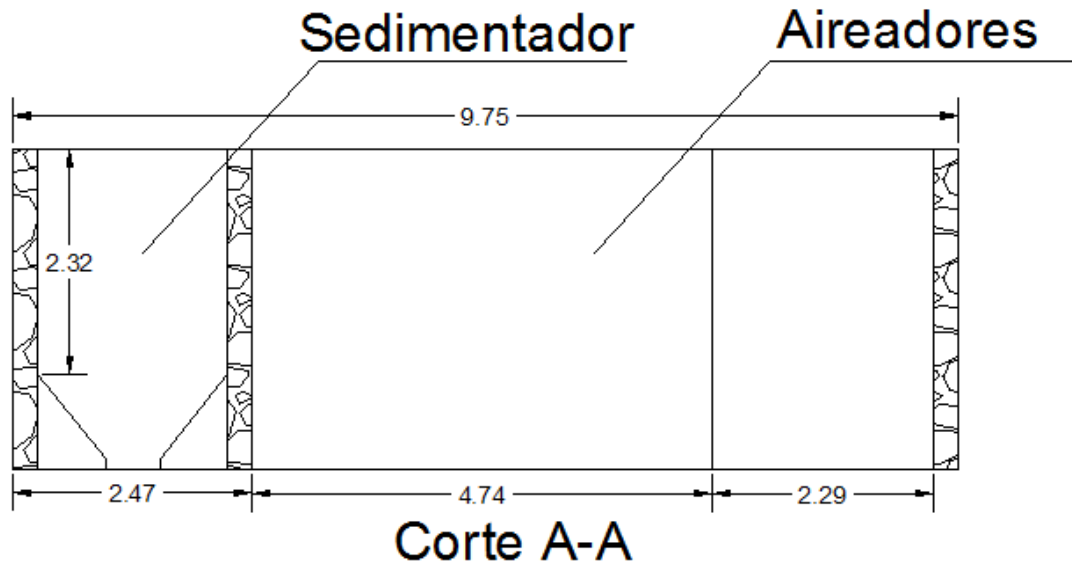


Figura 6. Corte perfil A-A del sistema de tratamiento de aguas residuales del campus en metros (m). Fuente: Los Autores.



## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La caracterización de los parámetros fisicoquímicos presentes en el agua tratada por la PTAR del campus San Alberto Magno se realizó por mediante los procedimientos realizados en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás, sirvió para determinar las condiciones de operación de la planta.

### 7.1 DETERMINACIÓN DE LA DBO<sub>5</sub>

Tabla 7. Resumen de la determinación de DBO<sub>5</sub> y oxígeno disuelto. Fuente: Los Autores

	#	TIOSULFATO GASTADO (ml)	PROMEDIO	TIOSULFATO GASTADO AL 5 DIA (ml)	PROMEDIO	OD INICIAL (ppm)	OD DÍA 5 (ppm)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE DBO <sub>5</sub> SEGÚN LA RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MARZO DEL 2015
Entrada Aireador	1	1.45	1.28	0.5	0.56	1.04	0.45	5.9	90 mg/l O <sup>2</sup>
	2	1.1		0.8					
	3	1.3		0.4					
Salida Aireador	1	2.8	3.17	2.5	2.5	2.57	2.03	5.4	90 mg/l O <sup>2</sup>
	2	3.5		2.3					
	3	3.2		2.7					
Sedimentador	1	2	2	0.15	0.10	1.62	0.081	15.4	90 mg/l O <sup>2</sup>
	2	1.9		0.10					
	3	2.1		0.5					
Salida al Alcantarillado	1	3.6	3.65	2.9	2.5	2.96	2.3	6.6	90 mg/l O <sup>2</sup>
	2	3.7		2.5					
	3	3.65		2.1					

A partir de estos datos se observa que la DBO<sub>5</sub> está muy baja, esto se debe a que el agua recién tomada la muestra no presenta OD porque la planta la mayoría del tiempo tiene los aireadores



apagados y los valores presentados en la tabla 7 ( ver anexo 1) son producto de una aireación artificial. En consecuencia, la caracterización de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no arroja valores confiables acerca de la carga contaminante presente en el agua, y por esta razón se hará la caracterización mediante el método de determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) con el espectrofotómetro seleccionando el programa 26 COD (DQO) que representa el rango medio (0-1500 mg/L), de esta manera, da inicio a la medición en el espectrofotómetro.

## 7.2 DETERMINACIÓN DE LA DQO CON EL ESPECTROFOTÓMETRO

Tabla 8. Resumen de la determinación de DQO por espectrofotometría. Fuente: Los Autores

Long. de onda 620 nm	# TUBO	ABSORBANCIA	PROMEDIO	DQO (mg/l)	PROMEDIO DQO (mg/l)	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE DE DQO SEGÚN LA RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MARZO DEL 2015
Entrada Aireador	6	0,1943	0,2085	447	479	180 mg/l O <sup>2</sup>
	7	0,2008		461		
	8	0,2303		529		
Salida Aireador	6	0,2463	0,2752	565	631,7	180 mg/l O <sup>2</sup>
	7	0,3272		751		
	8	0,2521		579		
Sedimentador	6	0,4664	0,4161	1071	955,3	180 mg/l O <sup>2</sup>
	7	0,4061		932		
	8	0,3758		863		
Salida al Alcantarillado	6	0,3941	0,3737	905	857,7	180 mg/l O <sup>2</sup>
	7	0,3225		740		
	8	0,4044		928		

La determinación de la demanda química de oxígeno por medio del espectrofotómetro el cual es un equipo que funciona mediante disparos de haces de luz a diferentes longitudes de onda, este



método es bastante efectivo ya que los patrones de calibración están grabados en el equipo, se usan los tubos de ensayo que ya tienen los reactivos preparados para el desarrollo de este método, estos tubos de ensayo son especialmente diseñados y preparados para un rango medio de concentración de DQO (Rango Medio de 0-1500 mg/l). Los valores expresados en la tabla 8 (ver anexo 2) se compararon con la resolución 0631 de 2015 (MADS) y se observó que los valores en mg/l de la DQO están muy por encima de los permitidos por el decreto para vertimientos, lo cual quiere decir que la planta no está funcionando bien.

### 7.3 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS PRESENTES EN EL AGUA

La determinación de fosfatos es realizada por el método de calibrado y adición estándar con el espectrofotómetro que consiste en la adición de cantidades crecientes de analito en este caso fosfatos para realizar la curva de calibración y en la tabla 9 mostramos los valores para la construcción de la curva de calibración del equipo, y así obtener los valores de las concentraciones de las soluciones problema.

**Tabla 9. Calibración de las concentraciones patrón para la determinación de fosfatos. Fuente: Los Autores**

Concentración mg $\text{Po}_4^{-3}$ /L)	ABSORBANCIA a 420 nm.
0	0
3	0.093
5	0.136
10	0.212
15	0.420
20	0.555

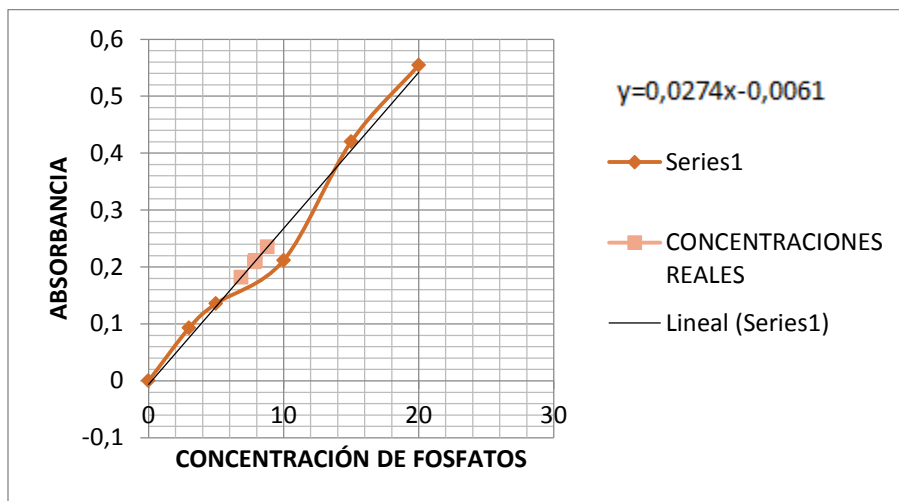


Figura 7. Gráfica de la curva de calibración y de las soluciones problema. Fuente: Los Autores

Con la curva de calibración se tomaban cantidades fijas de la muestra problema y se inserta en el espectrofotómetro y arroja una absorbancia (A) a una longitud de onda de 420nm y se halla la cantidad de fosfatos totales con la absorbancia con la forma gráfica o con la ecuación.

Tabla 10. Valores de la concentración de fosfatos presentes en el agua. Fuente: Los Autores

	ADSORBANCIA (A)	Concentracion $\text{Po}_4^{-3}$ (mg/L)	Promedio $\text{Po}_4^{-3}$ (mg/L)
ENTRADA AIREADOR	0,255	9,540	8,803
	0,237	8,854	
	0,214	8,015	
SALIDA AIREADOR	0,170	6,412	6,864
	0,168	6,350	
	0,208	7,828	
SEDIMENTADOR	0,281	10,471	7,925
	0,158	5,989	
	0,194	7,314	
SALIDA AL EFLUENTE	0,236	8,828	7,848
	0,201	7,566	
	0,190	7,150	



Los resultados de la tabla 10 (ver anexo 4) donde muestra concentraciones de fosfatos presentes en el agua fueron comparados con el resolución 0531 de 2015 (MADS), se evidenció que estos valores deben ser obtenidos y reportados para la autorización del vertimiento. Estas concentraciones producen una eutrofización del agua residual en el sedimentador por estancamiento al no haber recirculación y no es recomendable que el agua de los efluentes contenga altos niveles de fosfatos.

## 7.4 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

**Tabla 11. Valores en ppm de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles. Fuente: Los Autores**

Volumen de agua filtrada 50ml	#	PESO FILTRO SECO (g)	PESO FILTRO MOJADO (g)	PESO FILTRO CON MUESTRA (g)	PESO FILTRO DESPUÉS DE SECADO (g)	SSV ppm	SST ppm
Entrada Aireador	1	0.3509	0.6582	0.6612	0.3642	60	266
Salida Aireador	2	0.3196	0.7078	0.7126	0.3353	96	314
Sedimentador	3	0.3361	0.688	0.689	0.3389	20	56
Salida al Alcantarillado	4	0.3512	0.6699	0.6708	0.3535	18	46

De acuerdo con los datos de la tabla 11 (ver anexo 3) obtenidos en el laboratorio y con la comparación realizada con el Resolución 0631 de 2015 (MADS), se estima que para un agua residual doméstica el valor máximo permisible de concentración de sólidos en la salida al



efluente es 100 mg/l, esto quiere decir que la concentración de sólidos suspendidos que entrega el efluente en este caso la PTAR del campus San Alberto Magno se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Con los resultados obtenidos de todos los ensayos de laboratorio, se observó que algunos de estos no cumplen los parámetros establecidos en la norma es por esto que se hizo un análisis cualitativo y general de todos los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio y se estableció que:

- El sistema no cuenta con un flujo constante de aire porque el compresor que suministra el aire al sistema de aireación no funciona ya desde hace 4 meses, este proceso es indispensable en el tratamiento del agua residual ya que al momento de realizar el ensayo de la demanda bioquímica de oxígeno, el oxígeno disuelto en el agua casi nulo y en ocasiones muy variable.
- La limpieza de la planta no necesariamente es periódica, dependerá del control de los parámetros como la concentración de lodos activados, un adecuado suministro de oxígeno disuelto al sistema, el caudal de entrada, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), si estos parámetros no son controlados por el operario generara problemas en el tratamiento y funcionamiento adecuado de la planta.
- Los lechos de secado presentan gran cantidad de vegetación ya que al parecer nunca se han evacuado los lodos del lecho, es por esta razón que la vegetación crece por los altos contenidos de materia orgánica. Hasta el momento estos lechos de secado están fuera de



funcionamiento porque como la planta no está siendo aireando no se genera lodos en el sistema.

- La demanda química de oxígeno no está dentro de los valores permitidos por la norma ya la planta lleva tanto tiempo parada ha generado altas concentraciones de DQO, se estimaba que la planta estuviera por debajo de los 200 mg/l de concentración de DQO en la salida al efluente pero el ensayo nos arroja un rango medio de concentración el cual oscila entre 100 y 1500 mg/l de concentración de DQO en la entrada al aireador, la salida del aireador, el sedimentador y la salida al efluente.
- La presencia de fosfatos en el agua residual genera eutrofización en los cuerpos de agua, es por esto que no es recomendable el vertimiento del agua residual con altos niveles de fosfatos, estos se analizaron en el laboratorio por medio del espectrofotómetro y arrojaron concentraciones admisibles para el vertimiento.



### 8. CONCLUSIONES

- Con los análisis realizados en el laboratorio encontramos que el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es del -12%, pero debido a que la planta no tiene el funcionamiento correcto por la falta de aireación y recirculación de los lodos los valores de DBO<sub>5</sub> encontrados son bastante bajos y se espera que si la planta airea continuamente se encuentren valores de la carga contaminante acordes con el aspecto visual del agua residual, ya que al mantener un suministro de oxígeno constante a las bacterias oxidaran la materia orgánica y se mantendrá el proceso de lodos activados.
- Los ensayos de la demanda química de oxígeno arrojaron concentraciones bastante acordes con lo que el olor y el color del agua residual indica y fue encontrado que presenta más concentración de carga contaminante a la salida que a la entrada es por esta razón que se puede concluir que la planta de tratamiento no funciona correctamente, el agua residual lo que hace es simplemente pasar el sistema sin recibir ningún tipo de tratamiento.
- El contenido de sólidos suspendidos presente en el agua residual es otro parámetro importante en el tratamiento ya que según los ensayos de laboratorio la concentración de los sólidos está dentro de los parámetros establecidos por la norma 0631 de 2015 (MADS), pero, para que esto funcione de manera óptima es necesario hacer una recuperación de los lechos de secado y gestionar un manejo de dichos lodos.
- El desarrollo de los planos arquitectónicos de la planta proporciona una gran información acerca de lo que realmente se tiene en campo y en el lugar de operación de la planta, también es indispensable conocer la magnitud de la estructura en donde se hace el



tratamiento del agua residual, de esta manera el operario de la planta tiene todo el conocimiento necesario para hacer que funcione de la siguiente manera:

- Garantizar tiempos de aireación de 18 a 36 horas.
  - Dosificar la correcta cantidad de desinfectante a la salida de la planta.
  - Programar periódicamente las visitas de vehículo recolector de lodos.
  - Programar periódicamente las limpiezas de la planta.
- La planta del campus San Alberto Magno no funciona de manera correcta, es un sistema de lodos activados en aireación extendida, la aireación es el proceso más importante dentro de un tratamiento de aguas residuales de este tipo, como la planta no está aireando presenta grandes concentraciones de carga contaminante a la salida y según la resolución 0641 de 2015 dichas concentraciones no son permitidas para vertimientos al sistema de alcantarillado distrital.



### 9. RECOMENDACIONES

- La limpieza de la planta de tratamiento debe hacerse periódicamente para que los aireadores y equipos que hacen que la planta funcione no presenten anomalías de taponamiento ni descomposición, de esta manera se garantizara un porcentaje de remoción de carga contaminante más alto.
- El personal encargado de la operación además de tener la información que los planos de la planta le brindan, es muy importante capacitarlos por parte de los proveedores o encargados del funcionamiento de la planta, esto sería una solución clave dentro del proceso de evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales para que entiendan la importancia de darles un uso más adecuado a los residuos sólidos, esta disposición de lodos dependerá de los recursos, la mejor forma es aplicarlo al terreno debido a los nutrientes que poseen los lodos o como fertilizante para vegetación haciendo un ahorro en la compra de abono o de tierra para este mismo fin.
- Con respecto a los lechos de secado de la planta se recomienda un cambio total en este sistema de almacenamiento de lodos porque la planta no está generando lodos y además los lodos que algún día generó ya están cubiertos por la vegetación, también es recomendable que dichos lodos deshidratados se retiren para utilizarse en material de relleno o fertilizante periódicamente para recuperar suelos en el Campus, ya que su transporte a su disposición final generaría gastos adicionales.
- Hacer mantenimiento al compresor que proporciona el aire para el sistema de aireación es muy importante ya que en este momento se encuentra fuera de servicio, tal vez sea



porque los mantenimientos rutinarios se dejaron de hacer o porque el equipo se descompuso por alguna otra razón ajena a la falta de mantenimientos rutinarios.

- A partir de listas de chequeo y llamados de atención al personal operario y profesional se podría generar un manual de operación y procedimientos para que dichas actividades de operación sean más eficientes y así se controla más estrictamente el tratamiento del agua residual.
- Los análisis de resultados de este trabajo, evidenciaron que el tratamiento podría mejorar si se implementara un sistema de pretratamiento de agua residual antes de que entre al reactor, el cual contemplara rejillas, filtros y tamices, de esta manera se obtendría una retención de sólidos más eficiente y el sistema de tratamiento removería mayor porcentaje de carga contaminante.
- Es importante tener presente que la legislación sobre los vertimientos de aguas residuales está regida hasta el momento por el decreto 3930 de 2010, pero, la universidad Santo Tomás debe tener en cuenta que a partir del primero de enero de 2016 regirá el decreto 0631 de 2015 en el cual se establece los parámetros y límites máximos para vertimientos medidos en concentración, a la salida de la PTAR para tratamiento de aguas residuales domésticas y no domésticas (ARD y ARnD), y es recomendable una reestructuración del sistema de tratamiento de agua residual de la planta del campus San Alberto Magno ya que la evaluación resultado de este trabajo la planta no cumple con los parámetros establecidos en la norma en sus vertimientos.



## 10. BIBLIOGRAFIA

- NULLVALUE (1993), VITELMA MÁS QUE AGUA PURA, Bogotá, eltiempo.com, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-61233>.
- QUIMERK LTDA. FABRICACIÓN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, Bogotá, <http://quimerk.com/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-aguas/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-agua-residual-domestica/>.
- RWLWATER, PLANTAS COMPACTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES, New york, <http://www.rwlwater.com/plantas-compactas-tratamiento-aguas-residuales/?lang=es>.
- ACUEDUCTO DE BOGOTA. HISTORIA DE LA PTAR DEL SALITRE, Bogotá, Recuperado de: <http://www.acueducto.com.co/>.
- SERQUIMSA. S.A, SISTEMAS DE AIREACION EN TRATANMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL, Ing Michael Castro Solís, <http://www.serquimsa.com/sistemas-de-aireacion-en-tratamiento-de-agua-residual-industrial>.
- UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, Ing Eduardo Santambrosio, [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5\\_ano/biotecnologia/DBO.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_ano/biotecnologia/DBO.pdf).
- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LODOS ACTIVADOS A ESCALA LABORATORIO, revista tecnología, JULIAN VARILA y FABIO DIAZ, [http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_tecnologia/volumen7\\_numero2/tratamiento\\_aguas\\_residuales7-2.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/tratamiento_aguas_residuales7-2.pdf).



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

- QUIMERK LTDA, (2009). Fabricación plantas de tratamiento de agua residual doméstica. Recuperado de: [http://quimerk.com/fabricacion-plantas -de-tratamiento-de-aguas/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-agua-residual-domestica/](http://quimerk.com/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-aguas/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-agua-residual-domestica/)
- METCALF - EDDY. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S.A. (España 1985).
- ROGRIGUEZ, J.A. (2002). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- ROMALHO, R.S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: <http://books.google.com.co/books?id=30etGjzPXyWC&pg=PA92&lpg=PA92&dq=sedimentacion+tratamiento+de+aguas+residuales&source.>
- INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA, **Manual de prácticas de laboratorio de química ambiental, 2009**, Dra. marina Olivia franco Hernández, mc. Velia Palmira Ascencio rasgado.
- ETAP. (2010). Características de las aguas residuales. Recuperado de: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>.
- NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-ISO- 5667-10 GESTION AMBIENTAL CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.INCONTEC. República de Colombia. BOGOTÁ, D. C., Junio de 1995
- GUIA TECNICA COLOMBIANA GTC 31 GESTIÓN AMBIENTAL. AGUA. GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TOXICIDAD (BIOENSAYOS) EN



# UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

## PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

ORGANISMOS ACUÁTICOS .INCONTEC. República de Colombia. BOGOTÁ, D. C.,  
Noviembre de 1996.

- DECRETO 3930 DE 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá. Octubre 25 de 2010.
- Decreto 1594 de 1984, Sobre Vertimientos de agua residual y usos del agua. MINISTERIO DE SALUD, (1984)
- CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES) 3177. Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá, 15 de julio de 2002.
- Decreto 3440 DE 2004. Vivienda y desarrollo territorial. Ministerio de ambiente, (2004).



## ANEXOS

### PRUEBAS DE LABORATORIO

#### 1. DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub>

##### Objetivo principal

Analizar la DBO de los 4 puntos donde se realizó el muestreo.

##### Procedimiento

Ya con las 8 muestras en el laboratorio se dejan 4 muestras incubando para sacar la DBO<sub>5</sub> y 4 para sacar el oxígeno disuelto (OD), se toman 100 ml de la botellas Winkler y se le agregan 2 ml de sulfato manganoso y 2 ml de alcalino de yoduro tomando un color marrón porque hay presencia de oxígeno y luego se le agregan 2 ml de ácido sulfúrico concentrado haciéndolo un amarillo más fuerte, y se añade 1 ml de almidón para que pase de color amarillo a color negro y se pueda titular con tiosulfato hasta que pase a un estado incoloro.

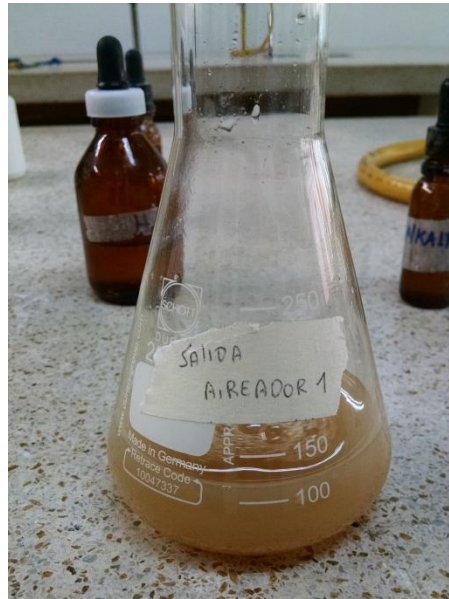


Foto 18. Muestra de agua con Sulfato manganoso y Alkali-Yoduro. Fuente: Los Autores

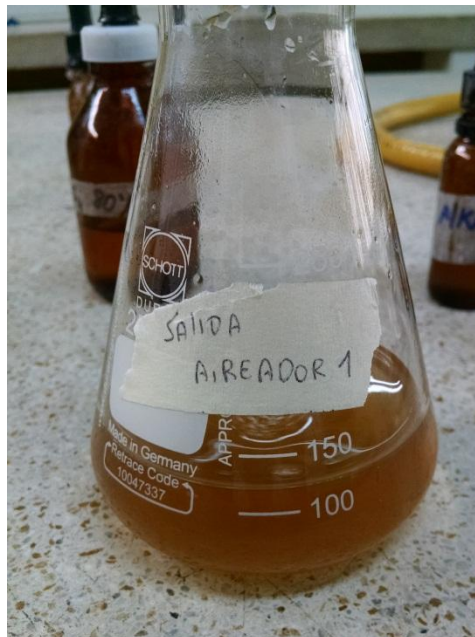


Foto 19. Muestra de agua con ácido sulfúrico. Fuente: Los Autores

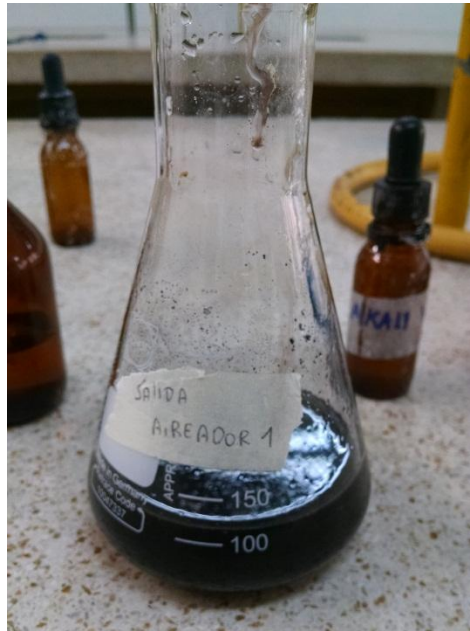


Foto 20. Muestra de agua con almidón. Fuente: Los Autores

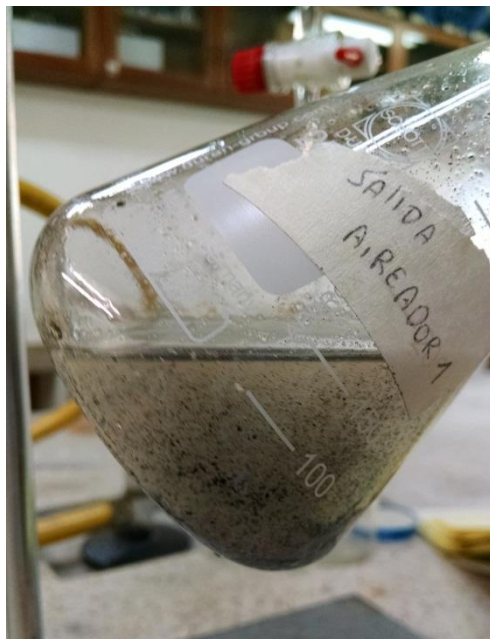


Foto 21. Muestra de agua después de la titulación con tiosulfato. Fuente: Los Autores



## Cálculos

- Entrada aireador

$$\text{Tiosulfato gastado} = 1.28\text{ml}$$

$$\text{OD mg/L} = N \text{ tiosulfato mL de tiosulfato} \times 8 \times 1000/98.7$$

$$\text{OD mg/L} = N \text{ tiosulfato mL de tiosulfato} \times 81.0536981$$

$$\text{OD} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.01N * 1.28\text{ml} * 81.05 = 1.04\text{ppm}$$

- Salida aireador

$$\text{Tiosulfato gastado} = 3.17\text{ml}$$

$$\text{OD} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.01N * 3.17\text{ml} * 81.05 = 2.57\text{ppm}$$

- Sedimentador

$$\text{Tiosulfato gastado} = 2\text{ml}$$

$$\text{OD} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.01N * 2\text{ml} * 81.05 = 1.62\text{ppm}$$

- Salida al alcantarillado

$$\text{Tiosulfato gastado} = 3.65\text{ml}$$

$$\text{OD} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 0.01N * 3.65\text{ml} * 81.05 = 2.96\text{ppm}$$



- **Titulación de la muestra después del quinto día**

Se repite el mismo proceso que se hizo para obtener oxígeno disuelto inicial.



**Foto 22. Muestra de agua con Sulfato manganoso y Alkali-Yoduro. Fuente: Los Autores**



**Foto 23. Muestra de agua con ácido sulfúrico Fuente: Los Autores**



Foto 24. Muestra de agua con almidón. Fuente: Los Autores

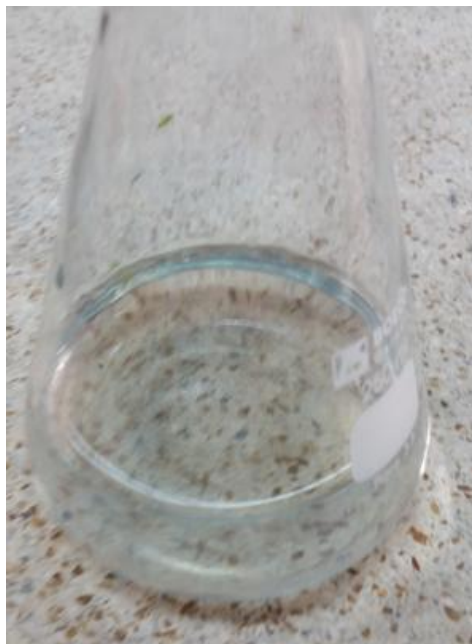


Foto 25. Muestra de agua después de la titulación con tiosulfato. Fuente: Los Autores



## Cálculos

- Entrada aireador

$$\textit{Tiosulfato gastado} = 0.56\textit{ml}$$

$$\textit{OD mg/L} = N \textit{ tiosulfato mL de tiosulfato} \times 8 \times 1000/98.7$$

$$\textit{OD mg/L} = N \textit{ tiosulfato mL de tiosulfato} \times 81.0536981$$

$$\textit{OD} \frac{\textit{mg}}{\textit{L}} = 0.01N * 0.56\textit{ml} * 81.05 = 0.45\textit{ppm}$$

- Salida aireador

$$\textit{Tiosulfato gastado} = 2.5\textit{ml}$$

$$\textit{OD} \frac{\textit{mg}}{\textit{L}} = 0.01N * 2.5\textit{ml} * 81.05 = 2.03\textit{ppm}$$

- Sedimentador

$$\textit{Tiosulfato gastado} = 0.10\textit{ml}$$

$$\textit{OD} \frac{\textit{mg}}{\textit{L}} = 0.01N * 0.10\textit{ml} * 81.05 = 0.081\textit{ppm}$$

- Salida al alcantarillado

$$\textit{Tiosulfato gastado} = 2.5\textit{ml}$$

$$\textit{OD} \frac{\textit{mg}}{\textit{L}} = 0.01N * 2.5\textit{ml} * 81.05 = 2.3\textit{ppm}$$



## Calculo de la demanda bioquímica de oxígeno

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{D1 - D2}{P}$$

Donde:

D1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/L,

D2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg/L,

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada. Solo si se hizo dilución.

- **Entrada aireador**

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{1.04 - 0.45}{0.1}$$

$$DBO_5 = 5.9 \frac{mg}{L}$$

- **Salida aireador**

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{2.57 - 2.03}{0.1}$$

$$DBO_5 = 5.4 \frac{mg}{L}$$

- **Sedimentador**

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{1.62 - 0.081}{0.1}$$

$$DBO_5 = 15.39 \frac{mg}{L}$$



- Salida al alcantarillado

$$DBO_5 \frac{mg}{L} = \frac{2.96 - 2.3}{0.1}$$

$$DBO_5 = 6.6 \frac{mg}{L}$$

- Eficiencia

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{(DBO_5 \text{ antes del tratamiento} - DBO_5 \text{ después del Tratamiento}) \times 100}{DBO_5 \text{ antes del tratamiento}}$$

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{(5.9 - 6.6) \times 100}{5.9} = -12\%$$



## 2. DETERMINACIÓN DE DQO

### OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar la DQO por medio del espectrofotómetro en los 4 puntos donde se realizó el muestreo.

### REACTIVOS

**Disolución patrón de Ftalato acido de potasio**, 850mg/l. pesar 0.085g de reactivo, disolver en agua destilada y diluir a 100 ml en un matraz aforado.

**Dicromato potásico**. Disolver 0.3g de dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) en agua destilada en un matraz aforado de 25ml

**Ácido sulfúrico concentrado**.

**Sulfato mercúrico**

Para evitar la interferencia

### PROCEDIMIENTO

En 8 tubos de ensayo se realiza un pesaje de 0.03g de sulfato mercúrico ( $HgSO_4$ ) con el fin de evitar la interferencia de los cloruros, ya que en altas cantidades de Cl consume oxidante afectando la medida colorimétrica.



Tabla 12. Datos para la construcción de la curva de calibración. Fuente: Los Autores

	MUESTRAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Solucion patron Ftalato	0	0,25	0,5	1	1,5	Solucion problema 1 mL de agua residual		
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
H <sub>2</sub> O	1,7	1,45	1,2	0,7	0,2	0,7	0,7	0,7
Volumen Total	5	5	5	5	5	5	5	5
HgSO <sub>4</sub>	Agregar 0.03 g en C/u de los tubos							

Al momento de agregar el ácido sulfúrico ocurre una reacción exotérmica, para evitar algún inconveniente mejor utilizar elementos de protección y unas pinzas, se agita y se cierran herméticamente los tubos para calentarlos en el termo reactor a 150°C durante 20 min. A continuación se dejan secar a temperatura ambiente.

Luego con las primeras cinco disoluciones patrón hallamos las concentraciones de Ftalato (mg/L) y la DQO (mg/L O<sub>2</sub>).

- Tubo 2

$$\frac{0.850mg}{1000mL} * 0.25mL = 2.12 * 10^{-4} mg Ftalato * \frac{1mg O_2}{0.85mg Ftalato} = 2.5 * 10^{-4} mg O_2$$

$$\frac{2.5 * 10^{-4} mg}{5 mL} * \frac{1000mL}{1L} = \frac{0.005mg}{L} O_2$$

El único valor que varía es la cantidad de solución patrón de Ftalato de 0.25 a 0.5, 1, 1.5 entre muestras y es el doble para evitar cálculos se tabula los resultados.



Tabla 13. Concentraciones de las soluciones patrón. Fuente: Los Autores

	Muestras				
	1	2	3	4	5
Solucion patrón Ftalato	0	0,25	0,5	1	1,5
Concentracion de O <sub>2</sub> mg/L	0	0,005	0,01	0,015	0,02

Al momento de medir las absorbancias en el espectrofotómetro arrojé valores negativos. Por lo tanto, el procedimiento se descartó por producir datos erróneos, pero el equipo espectrofotométrico tiene la curva de calibración grabada con los valores conocidos, lo cual garantiza la obtención de valores exactos. Se introducen las muestras al espectrofotómetro y se leen las absorbancias arrojando las concentraciones de O<sub>2</sub> en mg/l y se calcula la DQO de la siguiente manera:

$$DQO \text{ mg} \frac{O_2}{L} = \frac{\text{mg } O_2 \text{ en el volumen final} * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

El laboratorio dispone de un método alternativo el cual consta de unos instrumentos de la empresa HANNA encargada de preparar los reactivos para hallar la DQO.



Figura 8. Instrumentos HANNA para hallar la DQO. (Tomada de: [http://servicios.corferias.com/stand\\_virtual/exhibicion.cfm?stand](http://servicios.corferias.com/stand_virtual/exhibicion.cfm?stand))



Este método es más sencillo y rápido, los equipos cuentan con tres rangos de concentración, para este caso se tiene un rango medio (0-1500 mg/l). Se necesita 2ml de muestra y 2ml de agua destilada para hacer el blanco se mezcla teniendo en cuenta que es reacción exotérmica. Luego se colocan en el termo reactor durante 2 horas a 150°C.



Foto 26. Mezcla exotérmica. Fuente: Los Autores

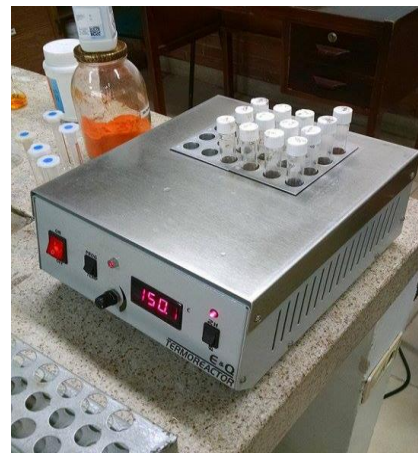


Foto 37. Termo-reactor. Fuente: Los Autores

Luego de las dos horas se mezcla de nuevo las muestras y se dejan secar 20 minutos a temperatura ambiente.



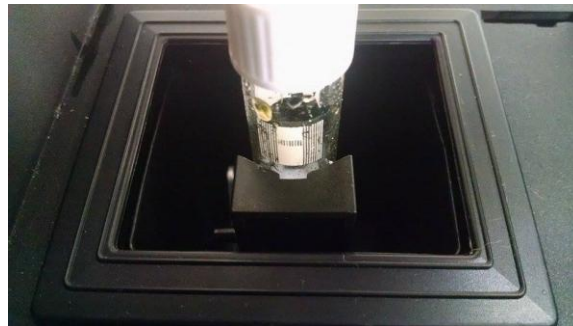
Foto 48. Grilla para tubos de ensayo. Fuente: Los Autores

A continuación se corre el programa en el espectrofotómetro y se realizan las mediciones.



**Foto 59. Espectrofotómetro. Fuente: Los Autores**

Nota: Para la medición de cualquier parámetro los tubos deben estar limpios por fuera, con esto se reduce la interferencia de cualquier suciedad en la medición de la absorbancia, también se deben colocar los tubos con la referencia hacia el rayo de luz para que todas las mediciones sigan el mismo patrón.



**Foto 30. Medición de muestras con el Espectrofotómetro. Fuente: Los Autores**



### 3. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

#### OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la cantidad de sólidos suspendidos totales que representan la concentración de microorganismos aerobios en el proceso.

#### REACTIVOS

Agua destilada

#### PROCEDIMIENTO

Se prepara el filtro de fibra de vidrio para que entre en el Embudo Buchner con la parte rugosa hacia arriba y se lava el filtro al vacío con cantidades de 20mL de agua destilada hasta que quede seco.



Foto 31. Equipo de filtración. Fuente: Los Autores

Luego se pesa con la precaución de que no se vaya adherir al disco de pesaje, a continuación se toma una alícuota que genere un residuo mínimo de 10 mg.



Se toman 100mL del agua residual, se agita muy bien la muestra y se agrega al filtro. Cuando se haya agregado la totalidad se realizan lavados con agua destilada para evitar residuos adicionales.



Foto 32. Limpieza del filtro. Fuente: Los Autores



Foto 33. Dosificación de la muestra. Fuente: Los Autores

Luego se seca en un horno a 103-105°C. Mínimo durante 1 hora, pero se repite el ciclo hasta que el peso sea constante y se toman los datos para el cálculo.

- **Calculo solidos suspendidos volátiles**

$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{P2 - P1}{V} * 1000$$

Donde:

P1 = Peso del medio filtrante mojado con agua destilada sin haber pasado la muestra g,

P2 = Peso del medio filtrante después de haber pasado la muestra g,

V = Fracción volumétrica de la muestra filtrada en L.



- Entrada aireador

$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{0.6612 - 0.6582}{0.05} * 1000$$

$$SSV = 60 \frac{mg}{L}$$

- Salida aireador

$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{0.7126 - 0.7026}{0.05} * 1000$$

$$SSV = 96 \frac{mg}{L}$$

- Sedimentador

$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{0.689 - 0.688}{0.05} * 1000$$

$$SSV = 20 \frac{mg}{L}$$

- Salida al alcantarillado

$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{0.6708 - 0.6699}{0.05} * 1000$$

$$SSV = 18 \frac{mg}{L}$$

- **Calculo solidos suspendidos totales**

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{P2 - P1}{V} * 1000$$



Donde:

P1 = Peso del medio filtrante seco sin haber pasado la muestra g,

P2 = Peso del medio filtrante después de haber pasado la muestra y secado en horno a 105°C (g).

V = Fracción volumétrica de la muestra filtrada en L.

- Entrada aireador

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{0.3642 - 0.3509}{0.05} * 1000$$

$$SST = 266 \frac{mg}{L}$$

- Salida aireador

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{0.3353 - 0.3196}{0.05} * 1000$$

$$SST = 314 \frac{mg}{L}$$

- Sedimentador

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{0.3389 - 0.3361}{0.05} * 1000$$

$$SST = 56 \frac{mg}{L}$$

- Salida al alcantarillado

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{0.3535 - 0.3512}{0.05} * 1000$$

$$SST = 46 \frac{mg}{L}$$



#### 4. DETERMINACIÓN DE FOSFATOS

##### OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar el contenido de fosfatos solubles en una muestra de agua mediante espectrofotometría ultravioleta-visible.

##### REACTIVOS

Vanado- molibdato: En 40 ml de agua destilada disolver 2g de heptamolibdato amónico, y una segunda disolución de 0.083g de metavanadato amónico, en 30mL de agua destilada y aforamos en un matraz de 100mL con ácido nítrico, Disolución patrón de fosfatos.

##### PROCEDIMIENTO

En matraces aforados de 25mL se añade la disolución patrón de fosfatos en donde la concentración final sea de 0,3,5,10,15,20 mg/L. se agregan 10mL de la disolución vanado-molibdato amónico y se enrasan con agua destilada a 25mL. Y se prepara un blanco solo con 10mL de la disolución vanado-molibdato sin fosfato.

Tabla 14. Concentraciones de la solución patrón para determinación de fosfatos. Fuente: Los Autores

	$\text{Po}_4^{-3}$	Absorbancia
	0	0
0,75mL	3	0,0929
1,25mL	5	0,1359
2,5mL	10	0,2218
3,75mL	15	0,4201
5,00mL	20	0,5545



Y para la preparación de las muestras se pipetea 5mL de la solución problema y pasarlo a un matraz aforado de 25mL, añadir 10mL de la disolución vanado-molibdato amónico y enrasar con agua destilada y se repite dos veces más para tener 3 muestras por cada punto.



Foto 33. Soluciones patrón y solución problema. Fuente: Los Autores

El espectrofotómetro se ajusta para longitudes de onda, correspondientes al espectro visible, Se calibra empleando patrones y ajustando a cero, luego se construye la recta de calibración con las muestras que tiene una cantidad de fosfato definida, luego con las muestras problema para interpolar y encontrar la cantidad de fosfato en las muestras.



Foto 34. Celdas para la determinación de curva de calibración y concentración de fosfatos. Fuente: Los Autores