

EVALUACION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS  
PARA LA REMOCION DE CARGA ORGANICA EN LAS AGUAS RESIDUALES  
DOMESTICAS GENERADAS EN EL COLEGIO SAN VIATOR

CRISTIAN CAMILO RAMOS VELANDIA

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTÁ  
2017

EVALUACION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS  
PARA LA REMOCION DE CARGA ORGANICA EN LAS AGUAS RESIDUALES  
DOMESTICAS GENERADAS EN EL COLEGIO SAN VIATOR

CRISTIAN CAMILO RAMOS VELANDIA

Proyecto integral para optar por el título de:  
INGENIERO QUIMICO

Director:  
GILBERTO ANDRES OSORIO  
Ingeniero Químico

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTA  
2017

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

ELIZABETH TORRES GAMEZ  
Presidente del Jurado

---

NUBIA LILIANA BECERRA  
Jurado 1

---

DIANA CUESTA  
Jurado 2

Bogotá D.C., Agosto de 2017.

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. Jaime Posada Díaz**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectoría Académica y de posgrado

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Secretaria General

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Dr. Julio César Fuentes Arizmendi**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Dr. Leonardo De Jesús Herrera Gutiérrez**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento, ya que estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y guiarme con sabiduría para culminar con satisfacción esta etapa de mi vida y cuyo reflejo es la realización de este trabajo de grado.

A mis padres, por sus valores infundidos, su confianza y apoyo incondicional, que ha permitido mi maduración y crecimiento personal a lo largo de estos años.

A mis amigos, con quienes compartí vivencias únicas a lo largo de mi paso por la universidad, por las palabras de aliento, alegrías y tristezas que compartimos, y que hicieron de esta etapa, una de las mejores experiencias a lo largo de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Gilberto Osorio, por abrirme las puertas al desarrollo de un proyecto exitoso.

Al colegio San Viator y todas sus personas, por brindarme sus conocimientos para la realización del proyecto.

A la ingeniera Elizabeth Torres, por su apoyo constante y su atención que fueron necesarios para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, agradezco a mis Padres, amigos y demás familiares que brindaron su apoyo durante toda mi carrera profesional, y en especial en este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCION</b>	20
<b>OBJETIVOS</b>	21
<b>1. GENERALIDADES</b>	22
1.1 DESCRIPCIÓN DEL COLEGIO SAN VIATOR	22
1.2 MUESTREO	23
1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	24
1.3.1 Tratamiento preliminar	25
1.3.2 Tratamiento primario	26
1.3.3 Tratamiento secundario	27
1.3.4 Proceso de lodos activados	27
1.3.5 Filtros percoladores.	32
1.3.6 Lagunas aireadas.	32
1.3.7 Lagunas de estabilización.	32
1.3.8 Biodiscos (RBC).	32
1.3.9 Tratamiento Terciario.	33
1.3.10 Desinfección	33
1.3.11 Marco legal	33
<b>2. DIAGNOSTICO Y CARACTERIZACION DE LAS FUENTES DE AGUA RESIDUAL</b>	34
2.1 FUENTES DE AGUA RESIDUAL	34
2.2 DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO DE AGUA ANTERIOR	34
2.3 CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL	35
2.3.1 Descripción del muestreo	36
2.3.2 Análisis de resultados	38
2.4 BALANCE HIDRICO	40
2.4.1 Balance para consumo institucional	41
2.4.2 Balance para otros consumos	42
2.4.3 Perdidas de agua por consumo actual	42
<b>3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	45
3.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	46
3.1.1 Alternativa 1. Proceso convencional de lodos activados.	46
3.1.2 Alternativa 2. Proceso de estabilización y contacto.	47
3.1.3 Alternativa 3. Proceso con reactor secuencial SBR	49
3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	50
3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN	51
3.3.1 Eficiencia de remoción (C <sub>1</sub> )	51
3.3.2 Operatividad (C <sub>2</sub> )	51



3.3.3 Mantenimiento (C <sub>3</sub> )	52
3.3.4 Estabilidad del proceso (C <sub>4</sub> )	52
3.4 PONDERACION DE LOS CRITERIOS DE SELECCION	52
3.5 COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO RESPECTO A LOS CRITERIOS DE SELECCION	53
3.6 MATRIZ DE SELECCIÓN	53
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO	55
4.1 ANALISIS DE VARIABLES	55
4.2 METODOLOGÍA	56
4.3 CALCULOS Y RESULTADOS	59
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	72
5.1 TANQUE DE HOMOGENIZACION	72
5.2 REACTOR AEROBIO	73
5.2.1 Cálculos para la demanda bioquímica de oxígeno soluble.	76
5.2.2 Cálculos para la cantidad de lodo a purgar	76
5.2.3 Cálculos para el oxígeno requerido en el aireador	78
5.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO	80
5.4 ESPECIFICACIONES DE UNIDADES ADICIONALES EN EL TREN DE TRATAMIENTO	82
5.4.1 Unidad de filtración ascendente	82
5.4.2 Etapa de desinfección	83
5.4.3 Lechos de secado	84
6. ESTIMACION DEL COSTO DE IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA	87
6.1 COSTO DE INVERSION	87
6.2 COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN	88
6.2.1 Gastos de personal	89
6.2.2 Costos de servicios (Energía eléctrica)	89
6.3 COSTOS POR SANCIONES	90
6.3.1 Beneficio ilícito (B)	91
6.3.2 Grado de afectación (i)	92
6.3.3 Factor de temporalidad ( $\alpha$ )	94
6.3.4 Circunstancias agravantes y atenuantes (A)	94
6.3.5 Costos asociados (Ca)	95
6.3.6 Capacidad socioeconómica del infractor (Cs)	95
7. CONCLUSIONES	97
8. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99



## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Características de operación de los procesos de lodos activados	30
<b>Cuadro 2.</b> Parámetros de diseño según los procesos de lodos activados	31
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de las fases en la estructura preliminar o pre tratamiento	35
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros de dotación de agua teóricos	41
<b>Cuadro 5.</b> Porcentajes de eficiencia de remoción teóricos de las alternativas de tratamiento	46
<b>Cuadro 6.</b> Ventajas y desventajas del proceso de reactor aerobio con aireación prolongada	47
<b>Cuadro 7.</b> Ventajas y desventajas del proceso por estabilización y contacto	48
<b>Cuadro 8.</b> Ventajas y desventajas en procesos con reactores secuenciales (SBR)	50
<b>Cuadro 9.</b> Identificación y valoración cualitativa de los atributos	92
<b>Cuadro 10.</b> Clasificación de la importancia de la afectación	93
<b>Cuadro 11.</b> Ponderadores de las circunstancias agravantes y atenuantes.	94
<b>Cuadro 12.</b> Capacidad de pago conforme al tamaño de la empresa	95

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Determinación del volumen de alícuota.	36
<b>Ecuación 2.</b> Caudal de agua residual en función del agua consumida.	38
<b>Ecuación 3.</b> Determinación del factor de ponderación.	53
<b>Ecuación 4.</b> Caudal en función del tiempo de retención hidráulico	60
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación linealizada para la obtención de K y Ks	63
<b>Ecuación 6.</b> Ecuación linealizada para la obtención de "Kd" y "Y"	64
<b>Ecuación 7.</b> Volumen del tanque de homogenización	72
<b>Ecuación 8.</b> Determinación del volumen de reactor	75
<b>Ecuación 9.</b> Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno soluble	76
<b>Ecuación 10.</b> Coeficiente real de crecimiento de lodos	77
<b>Ecuación 11.</b> Determinación para la producción de lodos	77
<b>Ecuación 12.</b> Determinación del caudal de purga de lodos	78
<b>Ecuación 13.</b> Determinación del oxígeno requerido en el sistema	78
<b>Ecuación 14.</b> Determinación de la carga volumétrica	79
<b>Ecuación 15.</b> Determinación de la potencia del compresor	80
<b>Ecuación 16.</b> Determinación de la sanción ambiental	90
<b>Ecuación 17.</b> Cálculo del beneficio ilícito	91
<b>Ecuación 18.</b> Costos evitados en el sistema de tratamiento	91
<b>Ecuación 19.</b> Determinación de la importancia de la afectación	93
<b>Ecuación 20.</b> Valor en pesos colombianos del grado de afectación	93

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Ubicación del Colegio San Viator	22
<b>Figura 2.</b> Esquema de tratamiento general de aguas residuales	24
<b>Figura 3.</b> Esquema general del tratamiento por lodos activados	28
<b>Figura 4.</b> Punto de muestreo	37
<b>Figura 5.</b> Diagrama del balance de agua en San Viator	43
<b>Figura 6.</b> Esquema del proceso convencional de lodos activados	46
<b>Figura 7.</b> Esquema del proceso de estabilización y contacto	48
<b>Figura 8.</b> Esquema del proceso con un reactor secuencial SBR	49
<b>Figura 9.</b> Sistema de difusión de aire para el reactor	57
<b>Figura 10.</b> Montaje Experimental	58
<b>Figura 11.</b> Comparación entre el afluente y efluente	67
<b>Figura 12.</b> Componentes de un sistema de tratamiento biológico	86

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
<b>Grafica 1.</b> Determinación de K y Ks	65
<b>Grafica 2.</b> Determinación de Y y Kd	66
<b>Grafica 3.</b> Concentración de DQO en el efluente en función de los experimentos realizados en el periodo de operación del reactor a escala	69
<b>Grafica 4.</b> Concentración de MLVSS respecto a los experimentos realizados en la operación del sistema a escala de laboratorio	70

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Valores in situ del monitoreo	37
<b>Tabla 2.</b> Reporte de las características fisicoquímicas de las aguas residuales del colegio San Viator y su comparación con la resolución 0631 de 2015	39
<b>Tabla 3.</b> Escala de valores del método por matrices de priorización	51
<b>Tabla 4.</b> Matriz de pares para la comparación de la importancia entre criterios	52
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de importancia en los criterios de selección del tratamiento	52
<b>Tabla 6.</b> Resultados del Factor de ponderación de cada una de las alternativas en función de los criterios de selección	53
<b>Tabla 7.</b> Matriz de Selección	54
<b>Tabla 8.</b> Datos del programa de monitoreo	59
<b>Tabla 9.</b> Tiempo de retención hidráulico y caudal suministrado al tanque por semana	60
<b>Tabla 10.</b> Valores promedio semanales de OD, pH y temperatura	61
<b>Tabla 11.</b> Valores semanales de SST en el afluente y efluente	61
<b>Tabla 12.</b> Valores semanales para DQO y MLVSS	61
<b>Tabla 13.</b> Datos para la determinación de los coeficientes cinéticos	65
<b>Tabla 14.</b> Resultado de los coeficientes cinéticos obtenidos a nivel experimental	67
<b>Tabla 15.</b> Coeficientes cinéticos típicos de aguas residuales en base a DQO	67
<b>Tabla 16.</b> Resumen de los parámetros para la unidad de homogenización	73
<b>Tabla 17.</b> Parámetros de Diseño en lodos activos	74
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de diseño del reactor aerobio según los datos escogidos	75
<b>Tabla 19.</b> Parámetros de diseño en la decantación secundaria	81
<b>Tabla 20.</b> Parámetros de diseño en los filtros	82
<b>Tabla 21.</b> Componentes del sistema de tratamiento de la figura 12	85
<b>Tabla 22.</b> Costo de equipos para el sistema de tratamiento	87
<b>Tabla 23.</b> Gastos de mano de obra para la construcción de las adecuaciones físicas del proyecto	88
<b>Tabla 24.</b> Gastos anuales de personal de trabajo	89
<b>Tabla 25.</b> Costos anuales de servicios de energía eléctrica	90
<b>Tabla 26.</b> Criterios para la determinación de la sanción ambiental	95

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Plano de estructura preliminar	103
<b>Anexo B.</b> Reporte de resultados de caracterizacion	104
<b>Anexo C.</b> Desarrollo de matrices pareadas por el metodo de priorizacion	105
<b>Anexo D.</b> Plano a escala del reactor aerobio construido en acrilico	106
<b>Anexo E.</b> Cálculos para la obtencion de los parametros fisicoquimicos en el proceso de lodos activados a escala de laboratorio	107
<b>Anexo F.</b> Cálculos para la obtencion de los parametros cineticos de lodos activados	115
<b>Anexo G.</b> Cotizaciones de los equipos involucrados en el sistema de tratamiento	119



## GLOSARIO

**AFLUENTE:** corriente de agua residual que entra a un proceso de tratamiento.

**AGUA RESIDUAL DOMESTICA:** son las aguas provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria tales como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, entre otros.

**DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO:** cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:** parámetro que mide a cantidad de sustancias a ser oxidadas por el oxígeno.

**EFLUENTE:** descarga o corriente de agua residual que sale de un proceso de tratamiento.

**LODO ACTIVADO:** es un proceso de tratamiento, que principalmente hace uso de microorganismos aeróbicos para degradar la materia orgánica en las aguas residuales y para producir un efluente de alta calidad.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES (PTAR):** es una instalación donde se lleva la actividad de retirar los contaminantes de aguas que con anterioridad tuvieron un proceso industrial.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:** es la cantidad de material retenido después de realizar la filtración de un volumen determinado de agua.

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES:** son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 600 grados centígrados.

**TIEMPO DE RETENCIÓN CELULAR:** es el tiempo medio en el que los microorganismos se mantienen en el reactor.

**TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO:** es la relación entre el volumen del tanque y el caudal que está entrando y saliendo del tanque.

**VERTIMIENTO:** conjunto de materiales de desechos líquidos principalmente industriales y domésticos, que son arrojados a un cuerpo de agua.

## LISTA DE ABREVIATURAS

A/M: alimento/Microorganismo.

$S_o$ : cantidad de sustrato en el afluente.

S: cantidad de sustrato en el efluente.

SS: sólidos suspendidos.

SST: sólidos Suspendidos totales.

SMMLV: salario mínimo mensual y legal vigente.

DQO: demanda Química de Oxígeno.

DQOA: demanda Química de Oxígeno en el afluente.

DQOE: demanda Química de Oxígeno en el efluente.

DBO: demanda Biológica de Oxígeno.

FAS: solución Sulfato ferroso amoniacal.

$K_s$ : concentración de sustrato a un medio de la tasa máxima de crecimiento.

$K_d$ : consumo de biomasa en la respiración endógena.

Y: tasa de masa de células formadas por masa de sustrato.

K: tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de microorganismos.

MLVSS: sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.

X: composición de microorganismos en el reactor de lodos activados.

$Q_d$ : caudal de Diseño.

$\theta$ : tiempo de retención Hidráulico.

$\theta_c$ : tiempo de retención celular.

## RESUMEN

En el presente trabajo de grado, se presenta plantea la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante la tecnología de lodos activados a las aguas residuales domesticas generadas en las actividades institucionales del colegio San Viator para su posterior vertimiento en el humedal de Torca-Guaymaral, ya que el tratamiento preliminar que se lleva a cabo actualmente no cumple con las exigencias de las normativas ambientales.

Para la evaluación de dicho tratamiento, se dividió el proyecto en tres fases, en primer lugar, realizó el diagnóstico y caracterización de las fuentes de agua residual, encontrando que parámetros como solidos suspendidos totales, grasas y aceites, DQO y DBO<sub>5</sub> no cumplen con las disposiciones legales. Posteriormente se desarrolla experimentalmente la alternativa de tratamiento escogida mediante la construcción, puesta en marcha y operación de un sistema convencional de lodos activados a escala de laboratorio, permitiendo determinar los coeficientes cinéticos de crecimiento biológico usados en la tercera fase del proyecto, que corresponde al dimensionamiento de las unidades involucradas en el sistema de tratamiento. Por último, y a partir de cotizaciones, se estiman los costos que implican la instalación y correcto funcionamiento de un tren de tratamiento por lodos activados.

**Palabras clave:** Lodos activados, reactor aerobio, microorganismos, crecimiento biológico.

## INTRODUCCION

El colegio San Viator es una institución educativa mixta y bilingüe, perteneciente a la CONGREGACION DE CLERIGOS DE SAN VIATOR, y cuya misión es la formación integral de damas y caballeros en la fe católica mediante la implementación de proyectos educativos (académicos, deportivos, artísticos y espirituales) de alto nivel. Actualmente, y como producto de sus actividades diarias, se genera agua residual con una elevada carga contaminante de grasas y sólidos suspendidos.

A partir de esto, y teniendo como referencia sus ideales frente a la gestión ambiental, el colegio opto por la instalación de tanques sépticos como una solución efectiva para la disposición de sus residuos, sin embargo, dichas estructuras generaban mal olor y podían afectar la salud de los estudiantes. Actualmente, se cuenta con la construcción de una estructura preliminar que disminuye los malos olores, pero sus efluentes no cumplen las características de disposición a cuerpos receptores de agua, lo que genera sanciones económicas por parte de la secretaria distrital de ambiente.

Es por ello que el desarrollo de este proyecto basado en la implementación de un tratamiento secundario de lodos activados, representa en la institución una solución factible a sus problemas de contaminación, ya que es una tecnología muy eficiente y de bajo costo, en la remoción de carga contaminante, permitiendo el cumplimiento a la normatividad ambiental vigente y ubicándola como una institución ejemplo en el desarrollo de medidas preventivas para la contaminación del recurso hídrico, frente a otras instalaciones educativas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar un sistema de tratamiento de lodos activados para la remoción de carga orgánica en las aguas residuales domésticas generadas en el colegio SAN VIATOR.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

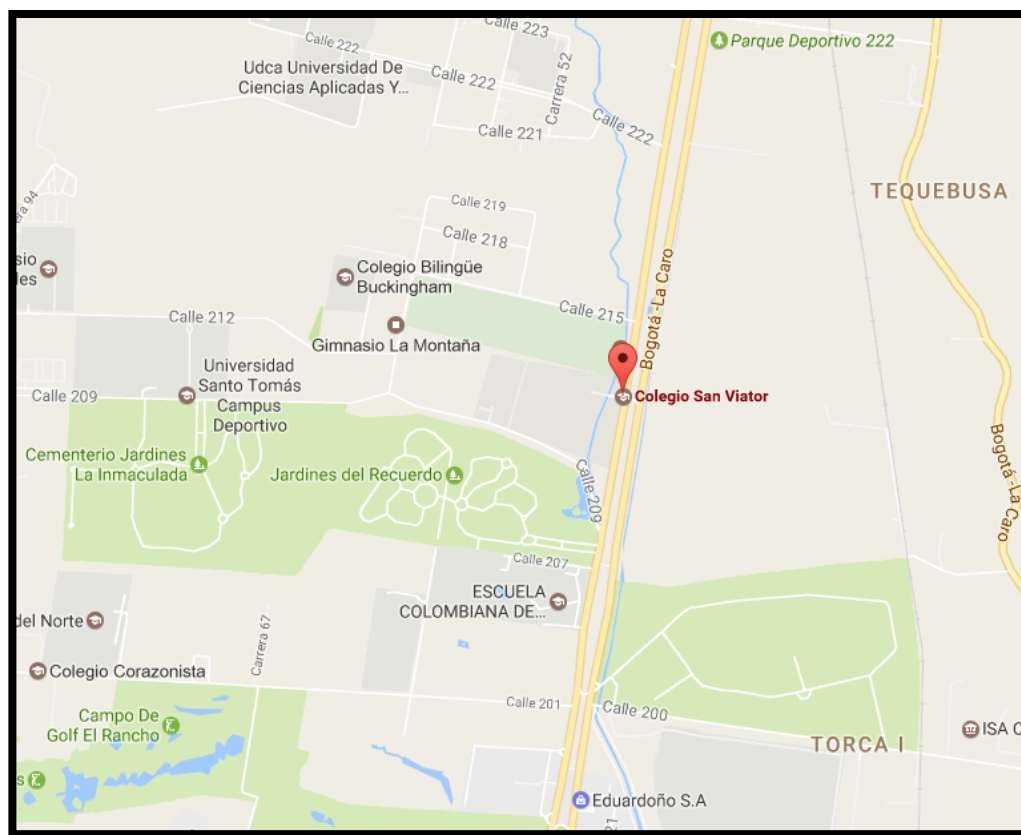
- Diagnosticar el estado actual de los vertimientos generados por las actividades realizadas en el colegio San Viator.
- Seleccionar la alternativa de lodos activados más eficiente para la remoción de cargas contaminantes, por medio de un desarrollo experimental
- Determinar las especificaciones técnicas de los equipos involucrados en el sistema de tratamiento de lodos activados propuesto.
- Realizar una estimación del costo de implementación del sistema de tratamiento de lodos activados seleccionado.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL COLEGIO SAN VIATOR

El colegio San Viator es una institución educativa mixta y bilingüe, perteneciente a la CONGREGACION DE CLERIGOS DE SAN VIATOR, y cuya misión es la formación integral de damas y caballeros en la fe católica mediante la implementación de proyectos educativos (académicos, deportivos, artísticos y espirituales) de alto nivel, que permiten la construcción de una sociedad colombiana reconocida por su excelencia académica, su formación humana y espiritual, así como su responsabilidad social y la capacidad para responder a las exigencias del mundo.<sup>1</sup>

**Figura 1.** Ubicación del Colegio San Viator.



La institución se encuentra ubicada en el norte de Bogotá D.C, específicamente en la localidad de Usaquén, y además de las aulas de clase y los baños, cuenta con

<sup>1</sup> COLEGIO SAN VIATOR. Misión, Visión y compromisos institucionales. [Disponible en Internet] <http://www.sanviator.edu.co/historia.html> [Consulta el 01 de Abril de 2017]

instalaciones como auditorios, laboratorios, enfermerías restaurantes y espacios deportivos que son necesarias para el desarrollo normal de las actividades escolares.

## 1.2 MUESTREO

El objetivo de la técnica de muestreo es “obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original”.<sup>2</sup> Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

Debido a la importancia que tiene la técnica de muestreo a la hora de conservar las propiedades iniciales de la muestra, se describen los diferentes tipos de muestras a continuación:

- **Muestra Puntual o Muestra instantánea:** sin tener en cuenta el caudal, se toma una muestra discreta de una masa de agua residual de forma aleatoria (con relación al momento y/o lugar). Es representativa de la descarga diaria en el caso de que se presuma que la carga contaminante del efluente sea relativamente constante.

En los controles de fiscalización de una autoridad ambiental, debería observarse si ocurren significativas fluctuaciones de la calidad de la descarga. Debe tomarse en momentos de producirse la descarga.

- **Muestra Compuesta:** es aquella, que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para conformarla, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios. Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una

---

<sup>2</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. COLOMBIA. Protocolo de muestreo. [Disponible en internet]. [http://www.ambientalex.info/guias/IDEAM\\_PROTOCOLOS\\_MSFMETALES\\_PESADOS\\_EN\\_AGUA\\_S\\_Y\\_SEDIMENTOS.pdf](http://www.ambientalex.info/guias/IDEAM_PROTOCOLOS_MSFMETALES_PESADOS_EN_AGUA_S_Y_SEDIMENTOS.pdf) [Consulta el 01 de abril del 2017]

muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica.

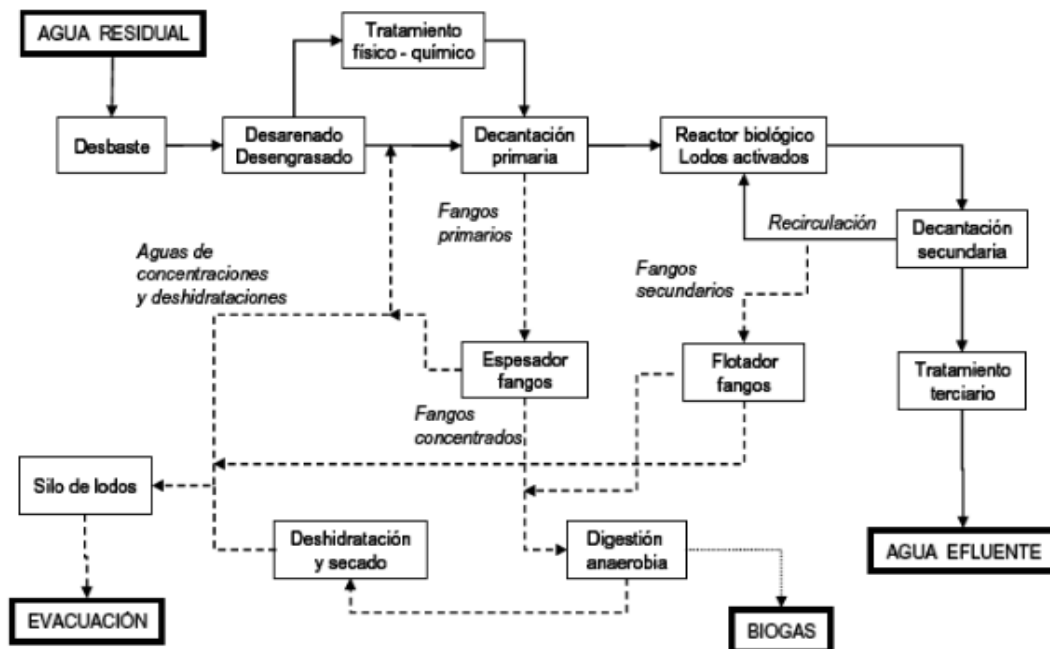
### 1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domésticas son aquellas que proceden de cualquier actividad doméstica, como su nombre lo indica, como lo es el lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

El principal objetivo del tratamiento de las aguas residuales es asegurar la calidad del cuerpo de agua receptor que permita el uso deseado, cumpliendo con criterios estipulados. En Colombia, las características del agua que garantizan su uso, están definidas por el Decreto 1594 de 1984 o aquel que lo sustituya.

A continuación, se muestra detalladamente el proceso general de tratamiento de aguas, así como sus respectivos subproductos y su adecuada disposición.

**Figura 2.** Esquema de tratamiento general de aguas residuales.<sup>3</sup>



<sup>3</sup> MILARIUM. INGENIERÍA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. Procesos de depuración de aguas residuales. [En internet] <http://www.milarium.com/Prontuario/Tablas/Aguas/ProcesosEDAR.asp> [Citado el 03 de abril de 2017]



**1.3.1 Tratamiento preliminar.** Este tipo de tratamiento sirve para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar todos los sólidos gruesos y/o visibles que transporta el agua residual, con el fin de evitar que en etapas posteriores de la línea de depuración se presenten problemas por obstrucción<sup>4</sup>. Se emplean comúnmente las siguientes operaciones unitarias:

- Tamizado: En este proceso se emplean equipos para retener sólidos gruesos presentes en el agua residual, estos equipos constan de barras o varillas paralelas.
- Flotación: Proceso para separar sólidos de baja densidad.
- Homogenización de efluentes: Con el mezclado de los distintos efluentes generados en el proceso productivo, se consigue disminuir las fluctuaciones de caudal y concentraciones características de los diferentes vertidos obteniendo una única corriente con un caudal y concentración más estable en el tiempo. Este proceso mejora la tratabilidad del agua residual, estabiliza el pH, reduce los requerimientos de área y las cargas para un tratamiento posterior, se hace más fácil la dosificación de los reactivos y mejora la confiabilidad y rendimiento del proceso.
- Las trampas de grasa: son pequeños tanques de flotación natural, en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados. Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica (TRH), ya que todo dispositivo que ofrezca una superficie tranquila, con entradas y salidas sumergidas (a media altura), actúa como separador de grasas y aceites. Las trampas de grasa deben ubicarse lo más cerca posible de la fuente de generación de estas sustancias (generalmente, corresponde al lavaplatos o similar) y antes del tanque séptico o sedimentador primario. Esta ubicación evitará obstrucciones en las tuberías de drenaje y generación de malos olores por adherencias en los tubos o accesorios de la red. Nunca deben conectarse aguas sanitarias a las trampas de grasas.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> GIRALDO, FERNANDO; RESTREPO, CRISTINA. Arranque y operación de un reactor experimental de lodos activados de aguas residuales urbanas. [Disponible en internet] <http://www.bdigital.unal.edu.co/977/1/luisfernandogiraldov.isabelcristinarestrepom.2003.pdf> [consulta el 02 de abril del 2017]

<sup>5</sup> Funcionamiento de trampa de grasas. [En línea] [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_37\\_trampa\\_de\\_grasas.htm](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_37_trampa_de_grasas.htm)

**1.3.2 Tratamiento primario.** Esta etapa se encarga de la remoción de parte de los sólidos y materia orgánica suspendida presentes en el agua residual. El tratamiento primario persigue la reducción de sólidos disueltos, turbidez y parte de materia orgánica. Es posible además la eliminación de una pequeña fracción de contaminación bacteriológica (coliformes, estreptococos, etc.)<sup>6</sup>

- Sedimentación. "Se designa por sedimentación la operación por la cual se remuevan las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento"<sup>7</sup>

Esta operación física de separación por gravedad hace que las partículas más densas que el agua descendan, precipitándose en el fondo de la unidad. Será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación.

La sedimentación después de la adición de coagulantes y floculantes se usa con el fin de remover los sólidos (flocs) que han sido generados por la adición de dichos agentes químicos.

- Coagulación. En este método de tratamiento, la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos y por el desarrollo de ciertas reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Consiste en la desestabilización de las partículas coloidales que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Un coagulante es el producto utilizado para dicha neutralización.

Entre los principales factores que influyen en la coagulación están: tipo de coagulante, dosis de coagulante, pH, ayudantes de coagulación, turbiedad, presencia de aniones, gradiente de velocidad, tiempo de mezcla, temperatura, concentración de la solución coagulante, entre otros.

- Floculación. En términos generales es un proceso seguido de la coagulación, y que tiene como objetivo la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los floculos recién formados con la

---

<sup>6</sup> OTALORA ALEJANDRA. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño gandúl [Disponible en internet] <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf> [Consulta el 02 de abril de 2017

<sup>7</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. ISBN 9588060664

finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.<sup>8</sup>

Es un proceso que generalmente puede ser favorecido por varios factores, entre ellos la adición de un reactivo de floculación y una acción de mezclado lenta, para así permitir que los floculos se junten y no se dispersen.

**1.3.3 Tratamiento secundario.** El tratamiento secundario o en muchos casos el tratamiento biológico, es aquel que se usa primordialmente para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual en floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación.<sup>9</sup> Estos procesos se emplean junto con procesos físicos y químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual. Los procesos biológicos más comúnmente usados son:

- Procesos de lodos activados.
- Lagunas aireadas.
- Filtros percoladores.
- Biodiscos.
- Lagunas de estabilización.

**1.3.4 Proceso de lodos activados.** El proceso de lodos activados que recibe este nombre porque involucra la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar de manera aerobia un desecho. Hoy en día se utilizan muchas versiones del proceso original, pero en lo fundamental todas ellas son similares. Las configuraciones más comunes son: el flujo de pistón y los procesos de mezcla completa. El proceso del lodo activo consiste en un reactor llamado Tanque de aireación, un tanque de sedimentación, reciclado de sólidos al tanque de aireación procedente del tanque de sedimentación y una línea de purga del lodo. A continuación, se muestra un esquema general del tratamiento.<sup>10</sup>

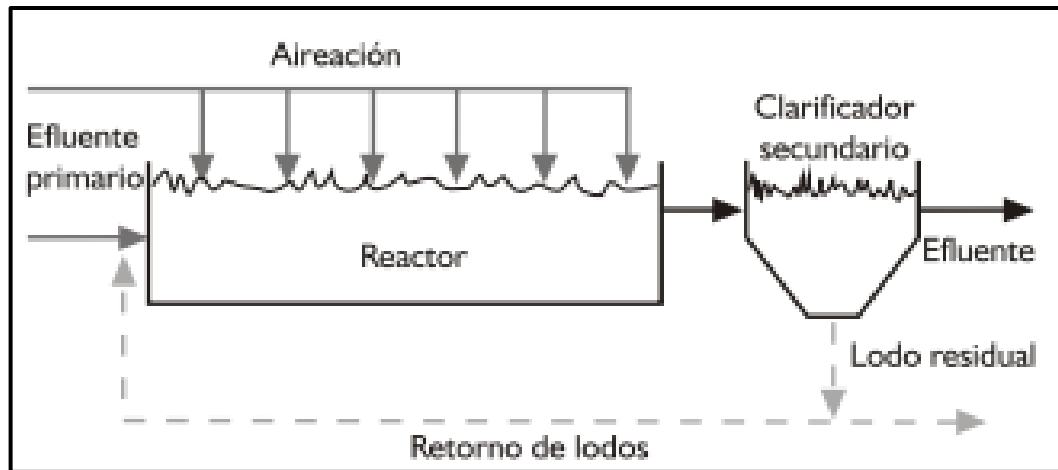
---

<sup>8</sup> SEDAPAL; ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. [disponible en internet] [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154) [consulta el 03 de abril del 2017]

<sup>9</sup> (RAS, 2000). Tratamiento de aguas residuales municipales, p E-57.

<sup>10</sup> RIVERA, Nora. Estudio preliminar para el tratamiento de lixiviados en un reactor de lodos activados. [Disponible en internet] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1075/1/noraximenariveraocampo.2003.pdf> [Consulta el 03 de abril del 2017]

**Figura 3.** Esquema general del tratamiento por lodos activados.



Teniendo en cuenta lo anterior existen los siguientes elementos de importancia en el sistema de tratamiento por lodos activados.

- **Tanque de aireación.** Es la estructura más importante del proceso, puesto que las aguas crudas provenientes de tratamientos preliminares, son mezcladas con una masa activa de microorganismos, que con el suministro de oxígeno, se consume el material orgánico en su propio beneficio, por lo que convierten dicho material orgánico en nuevas células y productos del metabolismo, limpiando el agua de los desechos orgánicos pudiendo el agua ser empleada o integrada al medio ambiente.
- **Tanque sedimentador.** Es la unidad utilizada para separar sólidos de líquidos y obtener así un efluente claro del sistema de tratamiento. Al mismo tiempo los sólidos son retenidos de tal manera que el sistema pueda continuar tratando más agua residual. El mecanismo del proceso de separar sólidos de un líquido en un clarificador de flujo continuo depende de la velocidad de sedimentación de la partícula debido a la fuerza de gravedad sea mayor que la rata de ascenso del líquido. Cuando los sólidos no sedimentan más rápido que la rata de ascenso, se obtiene una pobre separación de los sólidos del líquido y serios problemas operacionales para el sistema.<sup>11</sup>
- **Sistema de retorno de lodos.** El propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación.
- **Exceso de lodos y su disposición.** Corresponde a un proceso natural, en que el agua contenida intersticialmente entre las partículas de lodos es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo.

<sup>11</sup> EDUARDOÑO. Manual de operación para el tratamiento de aguas residuales, p 9.

En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos ya que está previsto un secado lento.

El proceso de lodos activados y sus modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO<sub>5</sub>). La selección del proceso de lodos activados más adecuado depende del tamaño de la planta propuesta, los tipos de aguas residuales por tratar, el grado anticipado de operación y mantenimiento, y los costos de operación. Todo diseño debe proveer flexibilidad en la operación. Para los niveles medio alto y alto de complejidad los procesos deben diseñarse con posibilidades de fácil conversión a otras modalidades de tratamiento.<sup>12</sup> A continuación se presenta una descripción de alguna de las modificaciones del proceso.

**Proceso convencional:** En este sistema del agua decantada y el lodo activado que se recircula entran en el tanque de aireación y son mezcladas por medio de aire disuelto o con agitadores mecánicos. El volumen de lodos recirculados es aproximadamente del 20-30% del volumen de aguas residuales que se van a tratar.

**Aireación por pasos (graduada):** Este proceso es una modificación del proceso convencional, el cual, a lo largo de la longitud del canal, en función de la demanda de oxígeno, se aplican caudales de aireación diferentes, por lo que las aguas residuales entran al reactor por diversos lugares, sin embargo, los lodos recirculados se introducen en el primer punto de partida. Razón por la cual la concentración de lodos activos en la primera etapa es mayor. La ventaja de este tratamiento en comparación al sistema convencional es que puede lograr los mismos porcentajes de remoción en la mitad del tiempo.

**Reactor de Mezcla Completa:** El agua residual decantada y el lodo activado recirculado se introducen normalmente, en varios puntos del tanque de aireación. La carga orgánica y la demanda de oxígeno son uniformes en toda la longitud del tanque.

**Reactor de flujo discontinuo SBR:** Se trata de un sistema de mezcla completa donde los procesos de aireación, sedimentación y clarificación no se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, sino que tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> (RAS, 2000)., Óp.,cit., p E-58.

<sup>13</sup> El trabajo de grado DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LUCTA GRANCOLOMBIANA S.A realizado por Karina Sánchez Santos y Oscar Guillermo Llano Rojas.

A continuación, se presenta una comparación entre las modificaciones del proceso y sus porcentajes de remoción.

**Cuadro 1.** Características de operación de los procesos de lodos activados.

<b>Modificación al proceso</b>	<b>Modelo de flujo</b>	<b>Sistema de aireación</b>	<b>Eficiencia en remoción de DBO, %</b>
Convencional	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	85 – 95
Completamente mezclado	Flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánicos	85 – 95
Aireación escalonada	Flujo pistón	Aire difuso	85 – 95
Aireación modificada	Flujo pistón	Aire difuso	60 – 75
Estabilización por contacto	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	80 – 90
Aireación extendida	Flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánicos	75 – 95
Aireación de alta tasa	Flujo continuo reactor agitado	Aireadores mecánicos	85 – 95
Oxígeno puro	Flujo continuo reactores en serie agitados	Aireadores mecánicos	85 – 95
Zanjón de oxidación	Flujo pistón	Aireador mecánico (tipo eje horizontal)	75 – 95
Reactor SBR	Flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85 – 95

Fuente. COMPONENTES Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES. [En línea] <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/lodosactivados5.pdf> [consulta el 03 de abril de 2017]

**Cuadro 2.** Parámetros de diseño según los procesos de lodos activados.

<b>Modificación al proceso</b>	<b>Carga orgánica kgDBO5/ Kg SSVLM/d (f/m)</b>	<b>Tiempo de detención (horas) (td)</b>	<b>SSLM mg/L (xt)</b>
Convencional	0.2 - 0.5	5-15	1500-3000
Completamente mezclado	0.2 - 0.6	4-8	3000-600
Aireación escalonada	0.2-0.5	3-5	2000-3500
Aireación modificada	1.5-5.0	1.5-3	200-1000
Estabilización por contacto	0.2-0.5	0.5-1.0	1000-3000
Aireación extendida	0.05-0.25	18-36	3000-6000
Oxígeno puro	0.4-1.0	1-3	6000-8000
Zanjón de oxidación	0.05-0.30	8-36	3000-6000
Reactor SBR	0.05-0.30	12-50	1500-5000

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico 2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., 2000. p. E.60; modificado por el autor.

**1.3.5 Filtros percoladores.** Un filtro percolador consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque. Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados.

**1.3.6 Lagunas aireadas.** Una laguna aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La principal función de este proceso es la conversión de la materia orgánica. Normalmente se suele aportar oxígeno con aireadores superficiales o con sistemas de difusión de aire. Al igual que en otros sistemas de cultivo en suspensión, la turbulencia creada por los sistemas de aireación se utiliza para mantener en suspensión el contenido del depósito.

**1.3.7 Lagunas de estabilización.** Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, coliformes, etc.).

El tratamiento por lagunas de estabilización puede ser aplicable en los casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes que se descargan en el efluente puedan ser asimilados sin problema por el cuerpo receptor.

**1.3.8 Biodiscos (RBC).** Son sistemas que permiten la obtención de un tratamiento biológico aerobio de aguas residuales. En el caso de los RBC, la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido y de crecimiento en suspensión, obteniéndose una mezcla entre tratamiento con filtros percoladores y tratamiento con lodos activados.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> RAMALHO. Rubens. Sette. Tratamiento de Aguas Residuales. Quebec: Reverté, 1990. p. 493.



**1.3.9 Tratamiento Terciario.** La finalidad de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos, que se usan cuando se requiere eliminar las altas cantidades de DBO y DQO, los organismos patógenos como gérmenes y parásitos.

**1.3.10 Desinfección.** El proceso de desinfección en el tratamiento de aguas, consiste en la destrucción e inactivación selectiva de organismos patógenos que causan enfermedades. Se diferencia de la esterilización, en la medida en la que este proceso conduce a la destrucción total de los microorganismos presentes. El principio del método consiste en agregar un agente químico desinfectante, que en muchos casos puede el cloro en sus diferentes formas. Este proceso resulta ser viable por su bajo costo y porque se ha demostrado que puede controlar olores, eliminar materia orgánica soluble refractaria y sustituir la acción del carbón activado.

**1.3.11 Marco legal.** Dentro del marco legal ambiental cabe resaltar la resolución 0631 de 2015 corresponde a la última actualización de los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. El artículo 8 de dicha resolución corresponde a los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.

Parámetro	Unidades	Resolución 631
DBO5	mg/L	90
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	180
Grasas y Aceites	mg/L	20
pH	N/A	6.0-9.0
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90
Solidos Sedimentables (SSED)	ml/L	5
Sustancias Activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Fosforo Total	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte

Fuente: Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631. Bogotá, 2015.

## **2. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA RESIDUAL**

En el presente capítulo, se realiza una descripción de las condiciones actuales de las aguas residuales domésticas, que se generan en el colegio San Viator producto del desarrollo de sus actividades curriculares y extracurriculares.

### **2.1 FUENTES DE AGUA RESIDUAL**

El colegio cuenta con una infraestructura estándar que manejan la mayoría de colegios en Bogotá, por ende las actividades que se realizan dentro de la institución son completamente naturales y generan un agua residual de tipo domestica cuyos contaminantes son materiales químicos, como los jabones; físicos como los materiales sedimentables o materia orgánica, y otros como los contaminantes biológicos, en espacios tales como sanitarios, restaurantes, laboratorios, auditorios y enfermerías.

### **2.2 DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO DE AGUA ANTERIOR**

La comunidad del San Viator en sus planes de gestión ambiental, siempre ha tenido como objetivo la mejora continua de sus procesos internos para la mitigación de sus problemas ambientales. Teniendo en cuenta esto, el colegio ha pasado por varios cambios para el cumplimiento de la legislación a la hora de verter sus residuos en el humedal de Toca-Guaymaral.

Anteriormente, se contaba con la construcción de un pozo séptico para el tratamiento del afluente proveniente de las actividades realizadas en la institución, que consistía en un tanque fabricado en concreto permeabilizado, al cual se le dirigían las aguas negras para así realizar un tratamiento primario de remoción de lodos, por medio del uso de bacterias encargadas de descomponer la materia orgánica y así sedimentar las partículas sólidas en el fondo del tanque, posteriormente se contrataba un vehículo vector con el fin de retirar todo el material sedimentado del tanque, sin embargo, la normatividad de ese momento obligó a retirar la estructura porque generaba malos olores al ambiente y adicionalmente presentaba taponamientos y desbordamientos de los residuos. Actualmente, se cuenta con una estructura preliminar que genera menos problemas operacionales a la hora del tratamiento de dichas aguas, y cuya construcción fue asesorada por la compañía Eduardoño S.A, sin embargo, este tampoco cumple las exigencias de la Resolución 0631 del 2015.

En el cuadro 3 se hará una breve descripción de los equipos que posee el pre tratamiento y así como su respectiva función. Las dimensiones y especificaciones técnicas de dicho pre-tratamiento se encuentran consignadas en el Anexo A.

**Cuadro 3.** Descripción de las fases en la estructura preliminar o pre tratamiento.<sup>15</sup>

<b>Equipo</b>	<b>Función</b>
<b>Rejillas de cribado</b>	Su principal función es la detención y separación de residuos sólidos por medio de unas rejillas finas de limpieza manual, ubicadas en el canal de cribado y en donde se retienen partículas sólidas mayores de 20 mm que interfieran con las posteriores fases de tratamiento.
<b>Caja de sólidos o caja de bombeo</b>	Es una estructura diseñada para aliviar las aguas residuales hacia el tanque de homogenización, por ende, garantiza un TRH (tiempo de retención hidráulico) alrededor de 10 min. La evacuación del agua se hace mediante bombeo.
<b>Tanque Desarenador</b>	Su principal función es la retención de arenas, el canal cuenta con una zona de desarenado que tiene como objetivo retirar partículas gruesas (diámetro superior a 0,2 mm) en suspensión para evitar que se formen depósitos en las obras de conducción,
<b>Tanque de Homogenización</b>	Tiene como finalidad soportar los picos de caudal que se presentan durante las actividades escolares, descargas sanitarias, preparación de alimentos, etc. Por tanto, es unidad que regula el caudal medio del sistema para posteriores tratamientos.

### 2.3 CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL

Después de conocer el estado actual del tratamiento que se lleva a cabo, y con el fin de evaluar la remoción de carga orgánica en un sistema de tratamiento de lodos activados, es necesario realizar un diagnóstico de las condiciones actuales

<sup>15</sup> Generalidades del pre-tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD) [Disponible en Internet]. <http://www.eduardono.com/ambiental/fichas/ptard-aerobia.pdf>. [Consulta el 11 de abril de 2017]

del afluente, por lo tanto se realiza la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la institución educativa, con la ayuda de los laboratorios de Eduardoño S.A, al protocolo de muestreo descrito a continuación y a la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.

**2.3.1 Descripción del muestreo.** Teniendo en cuenta que las actividades que se llevan a cabo actualmente en la institución, presentan picos en la descarga de afluentes y que las aguas que salen de la estructura preliminar no cumplen con la remoción de carga orgánica esperada para cumplir la legislación; se seleccionó un muestreo de tipo compuesto, con el fin de conocer las respectivas concentraciones o cargas contaminantes de una combinación de muestras sencillas en un determinado tiempo, y de esta manera poder analizar la eficiencia del tratamiento al que es sometido el agua residual.

El muestreo se realizó el día 4 de abril del 2017, y consistió en la recolección de muestras de agua en la entrada del tanque de homogenización en un periodo de 8 horas, tomando 2000mL en un recipiente ámbar con intervalos de una hora por cada toma, posteriormente cada muestra se almacena en un medio refrigerante y fue llevada al laboratorio para su respectivo análisis. Allí se determinó el volumen de cada alícuota para conformar una muestra compuesta de 4000 mL mediante la ecuación 1.

**Ecuación 1.** Determinación del volumen de alícuota.

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * n}$$

Fuente: IDEAM. TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES. Bogotá: IDEAM, 2007. ISBN 9789588067

$V_i$ = Volumen de cada alícuota.

$V$ = Volumen total a componer (4L)

$Q_p$ = Caudal promedio durante la jornada de aforo.

$Q_i$ = Caudal instantáneo de cada muestra original.

$n$ = Número de muestras tomadas

Cabe resaltar que aunque el análisis de tipo compuesto contempla los valores de temperatura, pH y caudal por cada muestra recogida, este último no fue medido durante el muestreo debido a que, las muestras recogidas se hicieron a la salida de un tanque de igualación por lo que el caudal, siempre era constante, sin

embargo, se midió este parámetro de forma independiente antes de que el afluente llegara a dicho tanque, puesto que, una información más detallada acerca de los picos del caudal en la descarga, puede ser muy relevante a la hora del diseño. A continuación, se muestran los valores *in situ* registrados en el monitoreo realizado desde las 8:00 de la mañana hasta las 3:00 de la tarde.

**Tabla 1.** Valores in situ del monitoreo.

<b>Muestra</b>	<b>Horario</b>	<b>T (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
1	8:00	16,8	6,0	0,250
2	9:00	18,3	6,7	0,295
3	10:00	19,1	7,2	0,645
4	11:00	19,1	7,5	0,813
5	12:00	20,4	7,5	0,851
6	13:00	20,0	7,0	0,833
7	14:00	18,4	6,6	0,476
8	15:00	18,0	6,7	0,778
<b>Promedio</b>		18,76	6,9	0,618

**Figura 4.** Punto de muestreo.



Los valores registrados en el momento del monitoreo (Ver tabla 1), reflejan el comportamiento de los caudales en una jornada escolar promedio para el colegio San Viator, en este caso, el caudal mínimo registrado correspondiente a un valor de 0,250 L/s, se obtiene en el horario de las 8:00 de la mañana, dado que, en este tiempo, los estudiantes y profesores asisten a la primera hora de clases, por lo que, los servicios de agua no son utilizados con frecuencia para este periodo de tiempo. Por otro lado, y conforme avanza el día, el caudal de aguas residuales aumenta entre las 10:00 de la mañana y la 1:00 de la tarde, alcanzando un valor máximo de 0,851 L/s, que representa los dos periodos de descanso, donde se

encuentra en funcionamiento el restaurante, y se hace uso de la totalidad de los baños, sanitarios y lavamanos.

Sin embargo, tales valores de caudal obtenidos a lo largo de una jornada pueden cambiar significativamente durante el año, dependiendo de las actividades llevadas a cabo por la institución, es decir que, en la realización de ferias estudiantiles, celebraciones de las fiestas patrias (día de la raza, independencia, etc.), obras de teatro y demás, los picos de caudales aumentan entre el 60 80%, según información suministrada por el personal administrativo del colegio, por lo que, la cantidad de aguas residuales se calcula, a partir de, la dotación de consumo teórica, establecida por la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** Caudal de agua residual en función del agua consumida.<sup>16</sup>

$$Q_{md} = \frac{C * P * R}{86400}$$

Dónde:

$Q_{md}$ = Caudal de aguas residuales en L/s

C= Dotación neta por habitante en L/hab-día

P= Alumnos o población total

R= Coeficiente de retorno adimensional\*

**2.3.2 Análisis de resultados.** Después de recibir los resultados de las pruebas efectuadas por el laboratorio para las muestras de agua residual industrial entregadas, se realizó una comparación de todos los parámetros analizados, con la Resolución 631 de 2015. El reporte de los resultados se encuentra consignado en la Tabla 2.

---

<sup>16</sup> RAS 2000 capítulo B, numeral E.2. Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, [Disponible en Internet]. [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4.\\_Sistemas\\_de\\_acueducto.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf) [Consulta el 3 de abril de 2017]

\* RAS 2000 capítulo E, numeral E.2.2.4, "Para comunidades sin alcantarillado debe determinarse el caudal medio de diseño con base en la dotación de agua potable multiplicada por la población y un factor de retorno (R) entre 0.70 y 0.80, más los caudales de infiltración, conexiones erradas y aportes institucionales comerciales e industriales"

**Tabla 2.** Reporte de las características fisicoquímicas de las aguas residuales del colegio San Viator y su comparación con la resolución 0631 de 2015.

Parámetro	Unidades	Valor Actual	Resolución 631	Nivel de Cumplimiento
DBO5	mg/L	300	90	No cumple
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	600	180	No cumple
Grasas y Aceites	mg/L	100	20	No cumple
pH	N/A	6.0-7.25	6.0-9.0	Cumple
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/L	250	90	No cumple
Fosforo Total	mg/L	10	-	-
Nitrógeno total	mg/L	40	-	-

Al analizar los resultados presentados en la tabla 2, se observa que solo el pH se encuentra dentro de los límites permisibles de la Resolución más reciente, dado que, un valor entre 6,0 - 9,0 da a entender que la descarga del afluente a procesos de tratamiento biológico es adecuada y que, por ende, el crecimiento de hongos y bacterias se favorece.

Los valores de DQO y DBO respectivamente, son los parámetros más preocupantes y representativos a la hora de realizar un análisis fisicoquímico de aguas residuales, dado que indican de una manera indirecta la calidad del agua, teniendo en cuenta, que su valor típico se encuentra entre 250-100 mg/L para aguas residuales domesticas contaminadas<sup>17</sup>; a su vez, permiten determinar la cantidad de oxígeno necesario para que biológicamente se pueda estabilizar y oxidar el material orgánico retenido en el agua. Por tanto, una relación entre ambos, proporciona una idea clara del nivel de contaminación del afluente, en este caso dicha relación es de 2 lo que quiere decir los vertimientos generados por San Viator, son adecuados para someterse a tratamientos biológicos.<sup>18</sup>

Las grasas y aceites, que provienen generalmente de manteca, margarinas, aceites vegetales y carnes, son otro parámetro importante a considerar, debido a que, su presencia en el agua residual genera varios problemas, uno de ellos es que se interfiere con la actividad biológica de los microorganismos, puesto que generan una capa adherente sobre la membrana celular de la bacteria, obstruyendo e inhibiendo el contacto con la materia orgánica y dificultando el

<sup>17</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008) , p 55.

<sup>18</sup> HERNANDEZ, A. Depuración de Aguas Residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1992, citado por CISTERNA OSORIO, Pedro y PEÑA, Daisy. Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. [En línea]. Internet: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>>

proceso de alimentación de la bacteria<sup>19</sup> y el segundo, es que causan serios problemas de mantenimiento en las plantas de tratamiento, sin embargo, es un valor común en las aguas residuales domesticas que puede ser disminuido con la ayuda de un tratamiento biológico.

Para terminar, se puede decir que el tratamiento actual está construido para la remoción efectiva de algunos parámetros como lo son los sólidos suspendidos y las grasas, pero no lo suficiente como para cumplir la reducción efectiva de carga orgánica que permita el vertimiento de efluentes acorde a la normatividad vigente, es por ello que se necesitan tratamientos adicionales; y teniendo en cuenta el análisis de las características anteriormente mencionado, un tratamiento secundario puede ser la solución más factible para la remoción total de carga orgánica proveniente de las actividades realizadas en el plantel educativo.

## **2.4 BALANCE HÍDRICO**

El balance de agua en la institución educativa de clérigos San Viator, se realizó teniendo en cuenta, algunos parámetros de consumo que se establecen teóricamente en algunas instalaciones (Ver cuadro 4) y tomando como referencia el procedimiento realizado por Parra Enciso<sup>20</sup>, debido a que la zona en la que está ubicada el colegio carece de un alcantarillado y en este caso fue imposible obtener la información del consumo por parte de la lectura de los contadores del acueducto. Sin embargo, el colegio suministro un valor de consumo promedio de 120 m<sup>3</sup>/día, que sirve para tener una base respecto a los valores teóricos asignados según la literatura.

Como ya se sabe, el agua residual del colegio es producto tanto de las actividades realizadas dentro de la institución, como del uso de algunas instalaciones tales como restaurantes, auditorios y consultorios, por parte de los habitantes, que se encuentran dentro de la misma. Por tal razón, se detalla a continuación cada uno de los parámetros de consumo teóricos que permiten el desarrollo del balance de agua.

---

<sup>19</sup> METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de Aguas Residuales. McGraw-Hill, México, 1996, p 346-351

<sup>20</sup> PARRA ENCISO. Óp., cit., p 39-42.



**Cuadro 4.** Parámetros de dotación de agua teóricos. <sup>21</sup>

<b>Criterio</b>	<b>Dotación (L/hab*día)</b>	<b>Criterio</b>	<b>Dotación (L/día)</b>
Alumnado semi-interno	70	Restaurante (por habitante)	14
Personal de trabajo	70	Auditorio (por asiento)	3
Personal residente	50	Consultorios médicos	500

**2.4.1 Balance para consumo institucional.** Este balance contempla el agua consumida por todas las personas que diariamente conforman el plantel educativo; como los estudiantes, docentes, personal administrativo y obrero; en el lavado de manos, uso de sanitarios, consumo propio y demás necesidades básicas. Actualmente, residen en el colegio aproximadamente 1600 alumnos y 250 personas que corresponden al personal de trabajo en jornadas de 8 a 12 horas. Por otra parte, ingresan al colegio en un día promedio alrededor de 50 padres de familia que pueden usar los servicios de agua.

A continuación, se muestra detalladamente la dotación de agua para cada grupo de personas y que corresponden a valores netamente teóricos.

- Alumnos semi-interno, aquellos que permanecen en la institución gran parte del tiempo entre 8-10 horas:

$$1600 \text{ personas} * \frac{70L}{\text{persona} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{120m^3}{\text{dia}}$$

- Personal de trabajo (Docentes, personal administrativo y obrero)

$$250 \text{ personas} * \frac{70L}{\text{persona} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{17,5m^3}{\text{dia}}$$

- Personal no residente (Padres de familia)

---

<sup>21</sup> MELGUIZO B., Samuel. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín 1994. Quinta edición, primera parte, 318-326.

$$50 \text{ personas} * \frac{50L}{\text{persona} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{2,5m^3}{\text{dia}}$$

**2.4.2 Balance para otros consumos.** Este incluye el agua utilizada para el uso y aseo de un restaurante, que recibe aproximadamente 300 estudiantes, un auditorio con capacidad de 150 personas, y el servicio de enfermería que cuenta con 1 solo consultorio.

- Restaurante

$$300 \text{ personas} * \frac{14L}{\text{persona} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{4,2m^3}{\text{dia}}$$

- Auditorios

$$150 \text{ asientos} * \frac{3L}{\text{asiento} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{0,45 m^3}{\text{dia}}$$

- Enfermería o Consultorio

$$1 \text{ consultorio} * \frac{500L}{\text{consultorio} * \text{dia}} * \frac{1m^3}{1000L} = \frac{0,5m^3}{\text{dia}}$$

### CONSUMO TOTAL

$$(120 + 17,5 + 2,5 + 4,2 + 0,45 + 0,5) \frac{m^3}{\text{dia}} = 145,15 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

**2.4.3 Pérdidas de agua por consumo actual.** Teniendo en cuenta que, el consumo de agua es función de una serie de factores inherentes al lugar en el que se abastece, es decir, que no solo por tener ciertos parámetros de dotación de agua por actividad o establecimiento, se puede tener la información exacta de la cantidad de agua residual que se produce, puesto que, no todo lo que se consume es netamente agua residual. Por ende, las pérdidas por consumo se refieren a la cantidad de agua que se usa en la preparación de alimentos, actividades de limpieza, evaporación, fugas, etc.

Dichas pérdidas por consumo se pueden calcular restando el caudal promedio de aguas residuales, tomado en el momento de muestreo, al consumo total de agua. Sin embargo, se descartó el caudal promedio debido a que este es un valor experimental y puede diferir en gran medida del consumo real de los estudiantes, es decir que, un alumno puede o no consumir más de la dotación teórica que se estipuló, razón por la cual se supondrá que la cantidad de agua residual es producto del cálculo del caudal medio de diseño, y que depende del consumo de agua por habitante, según la ecuación 2 presentada en la sección 2.3.1.

$$Q_{md} = \frac{C * P * R}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{145150 \frac{L}{dia} * 0.80}{86400 \frac{s}{dia}} = 1,34 \frac{L}{s} * \left( \frac{1m^3}{1000L} * \frac{3600s}{h} * \frac{24h}{dia} \right) = \frac{116,12m^3}{dia}$$

El Factor C\*P es el consumo total ya calculado, en Litros/día

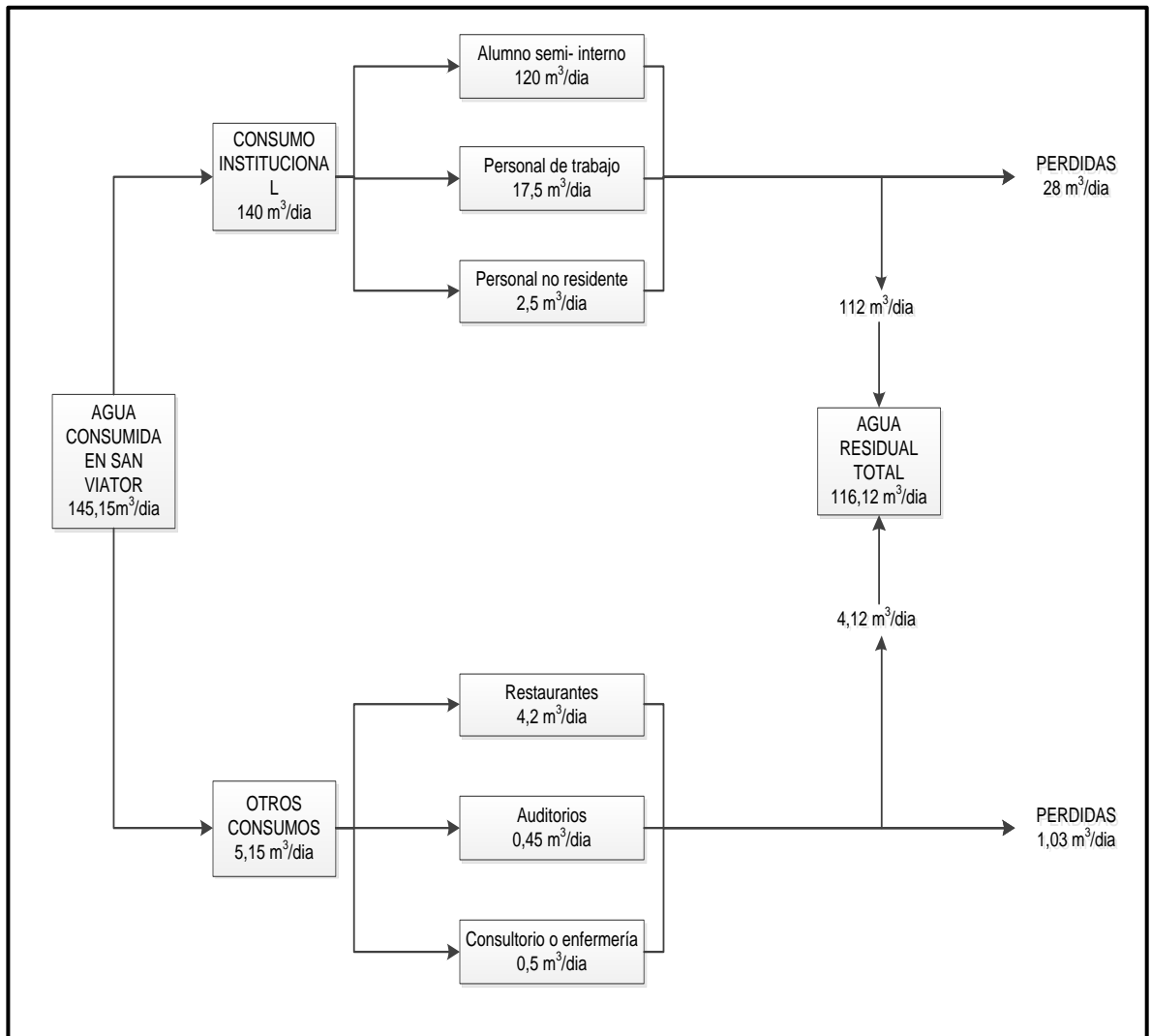
Por lo tanto el caudal de agua considerado como pérdidas, y que representa la cantidad de aguas que no se dirige al sistema de tratamiento actual, es la diferencia entre el consumo total y el caudal medio de diseño, ambos calculados anteriormente, tal y como se muestra a continuación.

$$145,15 \frac{m^3}{dia} - 116,12 \frac{m^3}{dia} = 29,03 \frac{m^3}{dia}$$

$$\frac{29,03}{145,15 \frac{m^3}{dia}} * 100 = 20\%$$

El resumen de lo descrito anteriormente, se detalla en la figura 5, teniendo como referencia que de 145,15 m<sup>3</sup>/día consumidos por los habitantes y establecimientos más representativos del colegio, 116,12 m<sup>3</sup>/día, representan la cantidad total de aguas residuales que llegan al sistema de pre-tratamiento mencionado en la sección 2.2, según el cálculo del caudal medio de diseño.

**Figura 5.** Diagrama del balance de agua en San Viator.



### 3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

De acuerdo con el análisis de las aguas residuales, producto de las actividades del Colegio San Viator y de acuerdo, con la comparación de los parámetros con la Resolución 631 de 2015, es necesario plantear una alternativa de tratamiento que se ajuste a los requerimientos técnicos y económicos exigidos por la entidad educativa, para este caso el sistema de tratamiento a seleccionar, debe alcanzar porcentajes de remoción alrededor del 80-85%; para verter de una manera correcta sus efluentes al humedal de Torca Guaymaral; por lo cual se descarta desde un principio un tratamiento primario, dado que este, considera la remoción de materia orgánica alrededor de un 60%.<sup>22</sup> Así mismo, la alternativa más eficiente, es aquella que pueda disponer de los posibles lodos adecuadamente y por ende evite malos olores y otros impactos ambientales.

Teniendo en cuenta lo anterior y dado que los parámetros críticos a tratar en la caracterización son la DQO, la DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales se propone evaluar 3 modalidades o sistemas en el proceso de lodos activados, como lo son, el sistema convencional, el proceso de estabilización y contacto y un proceso con reactor secuencial SBR, en base a los siguientes ítems:

1. Que el afluente sea biodegradable para aplicar un tratamiento biológico, lo que según Hernández se puede determinar mediante la relación de biodegradabilidad:  $DQO/DBO_5 < 2.5$ .<sup>23</sup>

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{600mg/L}{300mg/L} = 2 < 2,5$$

2. Los porcentajes de remoción teóricos de los procesos de lodos activados, establecidos por el reglamento técnico del sector de agua potable de Colombia y cuyos valores se detallan en el cuadro 5, así como, la descripción de cada una de sus operaciones unitarias, sus métodos de aireación, sus ventajas y desventajas operativas, presentados a lo largo del capítulo.
3. Los sistemas por lodos activados, se aprovechan para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas del agua residual,

<sup>22</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008, p.130

<sup>23</sup> HERNANDEZ, A. Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. Óp., cit., p 10.

mediante su conversión en gases que escapan a la atmosfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación.<sup>24</sup>

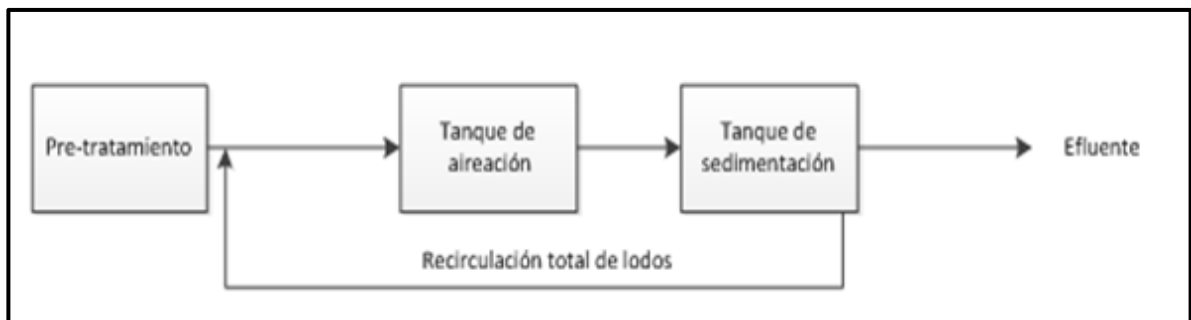
**Cuadro 5.** Porcentajes de eficiencia de remoción teóricos de las alternativas de tratamiento.

Modificación al proceso	Eficiencia en remoción de DBO, %
Convencional	85 – 95
Estabilización por contacto	80 – 90
Reactor SBR	85 – 95

### 3.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

**3.1.1 Alternativa 1. Proceso convencional de lodos activados.** El proceso convencional, es uno de los procesos más usados, puesto que, su esquema operativo posee dos unidades básicas para el control del tratamiento. Tiene como principio básico que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión de floculos, consta de un pre tratamiento, un tanque de aireación, y un sedimentador secundario con recirculación de lodos, el cual se detalla en la Figura 6. Se puede ajustar al proceso por aireación prolongada, puesto que, requiere que los microorganismos en su fase endógena, es decir en la fase en la cual cesa su crecimiento y empiezan consumir su propio protoplasma, puedan oxidar la totalidad de materia orgánica, por ello se necesita una relación A/M baja, una concentración de SSVLM alta y un tiempo de aireación largo.<sup>25</sup>

**Figura 6.** Esquema del proceso convencional de lodos activados.



<sup>24</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008) Op,cit.,p. 225

<sup>25</sup> Ibid., p 434.

**Cuadro 6.** Ventajas y desventajas del proceso de reactor aerobio con aireación prolongada.<sup>26</sup>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.</li><li>• Posee eficiencias de remoción de contaminantes alrededor del 85-95%.</li><li>• Eliminación de Olores.</li><li>• Trabaja sin una unidad de sedimentación primaria. Los lodos generados son altamente mineralizados por lo que no requieren de tratamiento posterior.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere un mantenimiento constante en las unidades del tren de tratamiento, así como una revisión periódica de la concentración de SSVLM y cantidad de oxígeno en el reactor.</li><li>• Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos.</li><li>• Requiere de un control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.</li></ul>

**3.1.2 Alternativa 2. Proceso de estabilización y contacto.** El proceso de estabilización por contacto, es también una modificación importante del sistema convencional de lodos activados y se basa en el fenómeno de absorción que ocurre en los lodos activados, es por ello que el sistema consta de un tanque de contacto de corto plazo (30-90 minutos) en el que no existe actividad metabólica sino una remoción por adsorción y absorción por el lodo, un clarificador o sedimentador y un tanque de estabilización o de re-aireación en el cual el material orgánico desechado por el sedimentador se utiliza para producir nuevas células que renueven las superficies activas del lodo para una posterior absorción.<sup>27</sup>

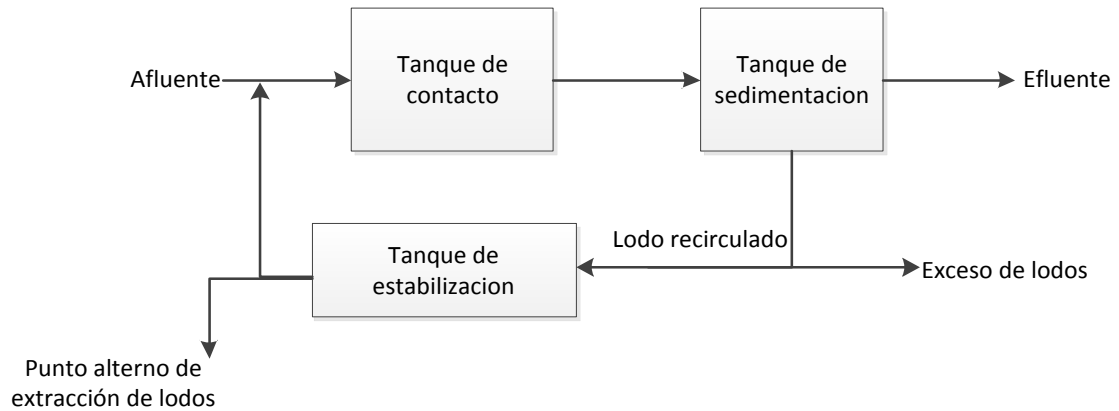
El proceso generalmente se usa habitualmente en plantas con flujos relativamente pequeños y es muy eficiente a la hora de tratar aguas residuales domésticas o desechos industriales con  $DBO > 1.000 \text{ mg/L}$ .<sup>28</sup>

<sup>26</sup> Fundación Chile. CONAMA. Tecnología convencional de lodos activados [Disponible en Internet] < [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf) > [Consulta el 16 de abril del 2017]

<sup>27</sup> Wáter Environment Federation (WEF). Manual de entrenamiento para el control de procesos de lodos activados. Capítulo 1, p11.

<sup>28</sup> ROMERO ROJAS. Op,cit.,p440.

**Figura 7.** Esquema del proceso de estabilización y contacto.



**Cuadro 7.** Ventajas y desventajas del proceso por estabilización y contacto.<sup>29,30</sup>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control por parte del operador para proteger la biomasa y evitar la filtración de sólidos no deseables en el lodo.</li> <li>• Permite reducir la capacidad del tanque de aireación convencional en más o menos un 50%.</li> <li>• Resiste los excesos de carga hidráulica.</li> <li>• Eficiencias de remoción entre el 80-90%</li> <li>• Programa de mantenimiento estipulado para 1 año, en el cambio de filtros y lavado general de equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de lodos en exceso, debido a que el tiempo de retención es solamente de 20-40 min.</li> <li>• Fallas en el sistema de clarificador secundario, con la presencia de grasas y aceites.</li> <li>• Altos costos de operación y mantenimiento.</li> <li>• Riesgo a taponamientos por altas cantidades de lodos.</li> </ul>

<sup>29</sup> RAMALHO. Rubens. Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 2003. p. 419

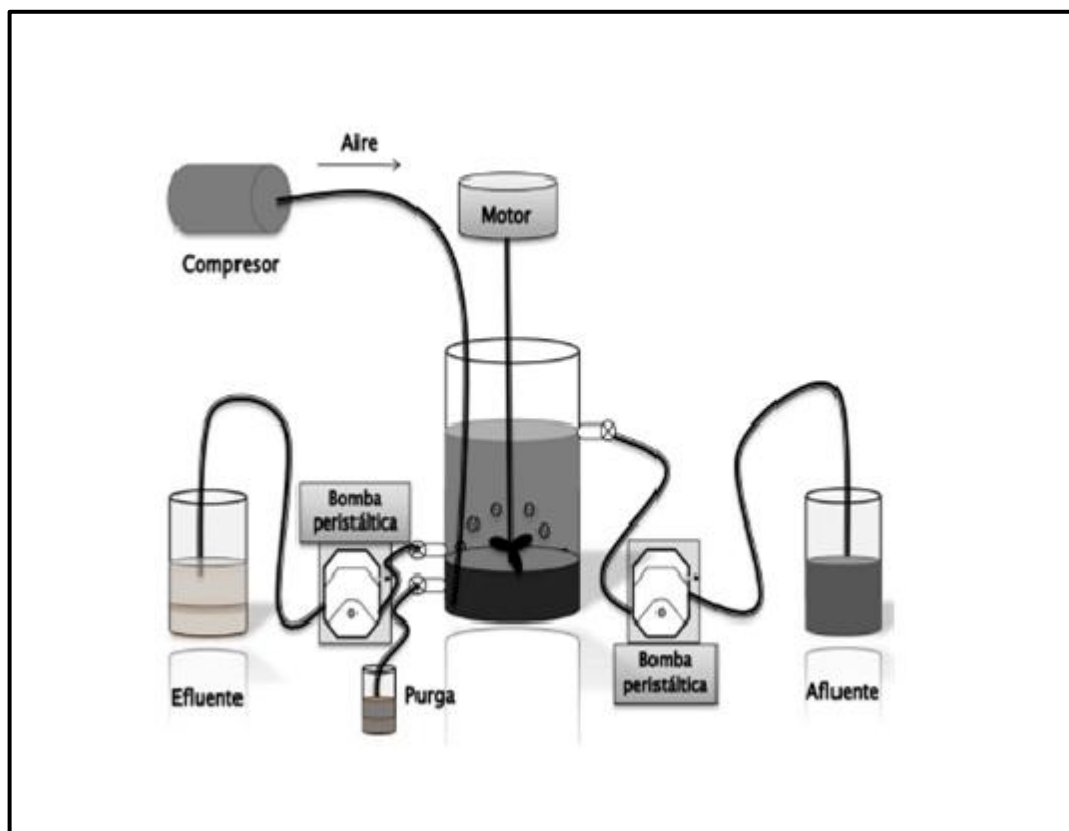
<sup>30</sup> EDUARDOÑO. Manual de usuario para la operación y mantenimiento en plantas de tratamiento de aguas residuales.



**3.1.3 Alternativa 3. Proceso con reactor secuencial SBR.** A diferencia de las alternativas anteriores, donde se utilizaban reactores de flujo pistón, la tecnología de los reactores biológicos secuenciales es una variante optimizada de la tecnología convencional de lodos activados. Se basa en el uso de un sólo reactor discontinuo que combina en un mismo tanque mezcla, reacción, aireación, sedimentación, clarificación, extracción del agua depurada y lodos en exceso, resultantes del proceso de oxidación.<sup>31</sup>

En la figura 8, se observa cada uno de los componentes del sistema de tratamiento con un reactor secuencial SBR a escala de laboratorio.

**Figura 8.** Esquema del proceso con un reactor secuencial SBR.



Fuente: Evaluación de la eficiencia de un reactor por carga secuencial tratando aguas residuales provenientes de un matadero de reses. Sedolfo Carrasquero Eduardo Matos. [En línea].

[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652014000300002](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000300002).

<sup>31</sup> ECODENA. Nota informativa sobre sistemas de lodos activados. [Disponible en internet] <[http://www.ecodena.com.gt/descargas/Nota\\_informativa\\_lodos\\_activados\\_general\\_guatemala.pdf](http://www.ecodena.com.gt/descargas/Nota_informativa_lodos_activados_general_guatemala.pdf)> [Consulta el 16 de abril del 2017]

**Cuadro 8.** Ventajas y desventajas en procesos con reactores secuenciales (SBR).<sup>32</sup>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficacia en la fase de decantación secundaria, que se realiza en condiciones completamente estáticas.</li><li>• Flexibilidad frente a variaciones de caudal y carga contaminante.</li><li>• Funcionamiento totalmente automático.</li><li>• Resultados depurativos, con eficiencias de remoción de carga orgánica entre el 85-95%.</li><li>• Bajo requerimiento de espacio.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capacitación estricta del personal que va a controlar el sistema.</li><li>• Mayores inversiones en el sistema de Aireación, respecto a los sistemas convencionales.</li><li>• Taponamiento de los dispositivos de aireación.</li><li>• Es necesario, realizar un mantenimiento periódico al sistema, aproximadamente cada 2 meses.</li></ul>

### 3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

De acuerdo con las necesidades y exigencias del Colegio San Viator, y una vez descritas las modalidades de lodos activados en cuanto a su funcionalidad, sus ventajas y desventajas, se hizo uso del método multicriterio de matrices de priorización, que según Llamazares Redondo, es una herramienta que permite la elección de una serie de alternativas u opciones, basándose en la ponderación de ciertos criterios de estudio.<sup>33</sup> Por tanto, el desarrollo de la matriz de selección se realiza en 4 etapas:

1. Definir los criterios que permitan establecer la relevancia de una alternativa de tratamiento sobre las otras.
2. Valorar cada uno de los criterios, a través de una escala establecida por el método de priorización (Ver tabla 3), y determinar el factor de ponderación o porcentaje de importancia, mediante el uso de una matriz de pares.

<sup>32</sup> (INDUSTRIALES, 2017)

<sup>33</sup> LLAMAZARES REDONDO, Francisco. Los métodos de decisión multicriterio y su aplicación al análisis del desarrollo local. 2011, p. 60.

3. De igual forma que en el ítem número 2, se realiza la comparación de las alternativas planteadas en función de cada uno de los criterios.
4. Por último, construir una matriz final que relacione cada una de las alternativas con los criterios definidos, y a partir de una suma ponderada, seleccionar la alternativa de mayor puntaje.

**Tabla 3.** Escala de valores del método por matrices de priorización<sup>34</sup>.

<b>Definición</b>	<b>Calificación</b>
Mucho más importante	10
Más importante	5
Igual de importante	1
Menos importante	$1/5=0,2$
Mucho menos importante	$1/10=0,1$

Fuente. REDONDO. LA UTILIDAD DE LOS METODOS DE DECISION MULTICRITERIO EN UN ENTORNO DE COMPETITIVIDAD CRECIENTE. p 71.

### 3.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Teniendo en cuenta lo anterior, y como desarrollo de la primer etapa, se plantean 4 criterios de selección, cuyo objetivo es justificar la jerarquía de una alternativa frente a las otras.

**3.3.1 Eficiencia de remoción (C1).** Es el criterio de más relevancia para el colegio, a la hora de implementar la propuesta, puesto que, es de vital importancia que el tratamiento seleccionado cumpla con los requisitos ambientales que exige la resolución 0631 de 2015, a la hora de verter sus desechos en un cuerpo de agua como lo es el humedal. En este caso, que el tratamiento seleccionado cumpla con una eficiencia de remoción de carga orgánica superior al 85%

**3.3.2 Operatividad (C2).** La alternativa seleccionada debe asegurar que el sistema de funcionamiento sea lo más sencillo para los operarios, y por tanto no requiera de una capacitación exigente ni un amplio personal de trabajo para el control efectivo del proceso.

---

<sup>34</sup> REDONDO. LA UTILIDAD DE LOS METODOS DE DECISION MULTICRITERIO EN UN ENTORNO DE COMPETITIVIDAD CRECIENTE. p 71.

**3.3.3 Mantenimiento (C3).** A pesar de que todas las alternativas de tratamiento propuestas consideran dentro de su ejecución, mantenimientos preventivos para el control y funcionamiento adecuado del proceso, se necesita que la propuesta seleccionada no requiera de estrictos programas de mantenimiento, debido que la detención del proceso podría generar malos olores, afectando la convivencia de los alumnos, además de esto se generarían costos adicionales, en cuanto a repuestos y personal de mantenimiento calificado.

**3.3.4 Estabilidad del proceso (C4).** Se espera que el sistema de tratamiento no presente variaciones, ni disminuya su eficiencia en condiciones críticas del efluente, sino por el contrario responda favorablemente.

### 3.4 PONDERACION DE LOS CRITERIOS DE SELECCION

Partiendo de los criterios de selección, y de acuerdo con la metodología propuesta en la sección 3.2, la matriz pareada presentada a continuación, permite la comparación de dichos criterios dependiendo de la escala de valores establecida en la Tabla 3.

**Tabla 4.** Matriz de pares para la comparación de la importancia entre criterios

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Suma ( $\alpha$ )	FP
C <sub>1</sub>	-	5	5	5	20	0,66
C <sub>2</sub>	0,2	-	5	1	6,2	0,21
C <sub>3</sub>	0,2	0,2	-	1	1,4	0,05
C <sub>4</sub>	0,2	1	1	-	2,4	0,08
Total					30	

Teniendo en cuenta, la comparación de criterios que se realizó mediante la matriz pareada, se determinó el porcentaje de importancia que tiene un criterio sobre los demás, mediante el cálculo del factor de ponderación (Ver Ecuación 3), y cuyos datos se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Porcentaje de importancia en los criterios de selección del tratamiento.

Criterio	Porcentaje de importancia
C <sub>1</sub>	66%
C <sub>2</sub>	21%
C <sub>3</sub>	5%
C <sub>4</sub>	8%

**Ecuación 3.** Determinación del factor de ponderación.

$$FP_i = \frac{\alpha_i}{Total}$$

### 3.5 COMPARACION DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO RESPECTO A LOS CRITERIOS DE SELECCION

De igual forma, a como se realizó el procedimiento para determinar el porcentaje de importancia de los criterios en la sección 3.4, la comparación de las opciones de tratamiento frente a los 4 criterios de selección tiene como objetivo establecer un nuevo factor de ponderación, que en este caso, indica el peso o importancia de la alternativa de tratamiento en función a cada uno de los criterios. De esta manera, el desarrollo de las matrices pareadas se presentan en el Anexo C, y los valores determinados para el factor de ponderación se encuentran consignados en la siguiente tabla.

**Tabla 6.** Resultados del Factor de ponderación de cada una de las alternativas en función de los criterios de selección.

	<b>Eficiencia de remoción</b>	<b>Operatividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Estabilidad del proceso</b>
	FP'	FP'	FP'	FP'
<b>Alternativa 1</b>	0,48	0,59	0,49	0,04
<b>Alternativa 2</b>	0,04	0,40	0,49	0,48
<b>Alternativa 3</b>	0,48	0,01	0,01	0,48

### 3.6 MATRIZ DE SELECCIÓN

Por último, la elección de la alternativa de tratamiento se realiza, a partir, de la construcción de una última matriz, y cuya finalidad es relacionar cada una de las opciones con sus respectivos criterios, por medio del cálculo de la suma ponderada, como se detalla a continuación.

**Tabla 7.** Matriz de Selección.

	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>Suma Total</b>
	(FP * FP')	(FP * FP')	(FP * FP')	(FP * FP')	
<b>Alternativa 1</b>	0,32	0,12	0,02	0,003	<b>0,46</b>
<b>Alternativa 2</b>	0,03	0,08	0,02	0,04	0,17
<b>Alternativa 3</b>	0,32	0,002	0,001	0,04	0,36

De acuerdo con la matriz de selección planteada y la calificación obtenida por cada uno de los criterios de selección, se descartan las alternativas 2 y 3, ambas por tener deficiencias significativas tanto en la operatividad del proceso, como en el mantenimiento riguroso y constante de los equipos seleccionados. Por lo tanto, la alternativa 1 correspondiente a un sistema de tratamiento convencional por lodos activados, conformado por un tanque de homogenización un reactor aerobio y un clarificador o un sedimentador secundario, es la más adecuada para los problemas ambientales generados en la institución educativa, debido a, su desempeño eliminando por completo el mal olor, su fácil operatividad, la frecuencia del mantenimiento en sus equipos y por último su eficiencia de remoción de carga orgánica, que en este caso es alrededor del 85%

## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO

El desarrollo experimental se llevó a cabo en los laboratorios de Eduardoño S.A, mediante la construcción, puesta en marcha y operación de un modelo a escala de laboratorio de un reactor convencional de mezcla completa, y que aparte de evaluar los criterios de selección mencionados en el capítulo anterior, tiene como finalidad determinar las condiciones y parámetros de diseño importantes en el proceso, que permitan una remoción significativa de carga contaminante en el afluente, según los requerimientos legales a los que está sujeta la institución.

Teniendo en cuenta lo anterior en este capítulo, se hará una descripción de las variables de importancia en el proceso, de los componentes del modelo del reactor, su puesta en marcha y el análisis de los resultados obtenidos.

### 4.1 ANALISIS DE VARIABLES

Los procesos biológicos y en este caso el tratamiento de aguas residuales por lodos activados, tanto en su forma original como en sus variantes, es un proceso que se utiliza principalmente para convertir la materia orgánica disuelta en floculos filamentosos, de forma que los contaminantes que queden en el afluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural por un cuerpo de agua receptor. Teniendo en cuenta lo anterior y sabiendo que el reactor aerobio es el dispositivo de mayor relevancia en el proceso es necesario conocer las variables que afectan su operación y rendimiento.

- **Temperatura:** es una variable independiente, y su importancia viene dada porque los cambios de temperatura del agua residual pueden modificar la velocidad de las reacciones que intervienen en el proceso, es decir, que dichos cambios de temperatura afectan de manera directa en el crecimiento de los microorganismos (variable respuesta), por lo que es recomendable mantener un rango de 20-25 °C el lugar donde se realiza la experimentación.<sup>35</sup>
- **Tiempo de retención hidráulico:** es una variable independiente que establece el tiempo en el que las bacterias están en contacto con el agua residual, es un factor importante de diseño y operación, por lo que se deber tener conocimiento del tiempo necesario para que las bacterias asimilen la materia orgánica que contiene el afluente. Si no se tiene un tiempo de retención adecuado no se logrará un porcentaje de remoción efectivo como variable de respuesta.
- **Demanda de Oxígeno:** es una variable que depende de la DBO<sub>5</sub> que va ingresando al sistema y la cantidad de sólidos que hay en el tanque, es importante para suministrar el aire necesario y de esta manera mantener

---

<sup>35</sup> METCALF & EDDY, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION (TERCERA EDICION) Volumen I.

activos los lodos y la respiración endógena de los microorganismos. A pesar de ser una variable que depende indirectamente de lo mencionado, tiende a mantenerse una concentración constante entre 1,5 - 4 mg/L de oxígeno disuelto, pero el valor más utilizado es 2 mg/L.<sup>36</sup>

- **Relación Alimento Microorganismo (A/M):** es una variable independiente y muy importante en la operatividad del proceso porque indica la cantidad adecuada de alimento para los microorganismos, debido a que la ausencia o exceso de alimento puede causar problemas en el sedimentador. Así mismo se puede expresar como la cantidad de sólidos volátiles en suspensión del licor de mezcla por día, MLVSS/d, como variable de respuesta.
- **Caudal:** el caudal es una variable que depende del tiempo de retención hidráulico que se establezca en la operación del reactor aerobio, lo ideal es mantener un caudal pequeño para lograr un porcentaje de remoción más alto en el sistema.
- **Concentración de lodos:** esta variable corresponde al lodo activo que se produce en el sistema, es necesario tenerla en cuenta porque su concentración influye en la eficiencia del clarificador, es decir que, la poca presencia de lodos hace que se tenga que verificar el caudal de entrada que es el que influye en la producción de lodo y si por el contrario existe una concentración de lodos muy elevada se debe descartar una porción de estos del sistema. En este caso esta variable no se va a considerar puesto que el desarrollo experimental se hará eliminando la recirculación de lodos provenientes del clarificador secundario.

## 4.2 METODOLOGÍA

La metodología del presente capítulo se basa en la propuesta realizada por Parra Enciso y a su vez una modificación del reactor a escala de laboratorio propuesto por Reynolds & Richards (1996).

El reactor es construido en acrílico transparente con una capacidad aproximada de 1,650 litros, se encuentra dividido en dos secciones separadas por un deflector regulable, la primera corresponde a la cámara de aireación que tiene un volumen de 1 litro aproximadamente, y la segunda tiene un volumen de 0,650 litros que corresponde a la zona de sedimentación. Cuenta con orificios tanto a la entrada como a la salida que permiten la alimentación y descarga del agua, así como, la circulación del flujo de aire. Ver el plano correspondiente en el anexo D.

---

<sup>36</sup> SERQUIMSA. Parámetros de control del sistema biológico. [Disponible en internet] <http://www.serquimsa.com/articulo-informativo-mayo-2013/> [Consulta el 23 de abril de 2017]



La inyección de oxígeno fue suministrado mediante dos mangueras transparentes de PVC de 4mm de diámetro externo, instaladas en el lecho de reactor y conectadas a una bomba de aire tipo pecera marca POWER LIFE P-500 con una capacidad máxima para 45 galones y dos difusores circulares a cada uno de sus extremos. Su función es suministrar el oxígeno de forma homogénea, manteniendo el agua residual en estado de mezcla completa, como se muestra en la figura 9.

**Figura 9.** Sistema de difusión de aire para el reactor.



Para el almacenamiento del agua residual a tratar se utilizó un recipiente rectangular tipo galón, con una capacidad de 20 litros soportado sobre una mesa plástica de aproximadamente 1 metro de altura. En cuanto a la alimentación del afluente, se instaló una válvula plástica de bola, que permite la regulación del caudal, y que estaba conectada a unas mangueras de PVC flexibles tipo sanitarias y 6mm de diámetro, que conducen el agua hasta la entrada del reactor. Por su parte, el agua residual tratada fue almacenada en un recipiente cilíndrico con capacidad de 10 litros, a través de una manguera instalada en la zona de sedimentación. En la figura 10, se muestra detalladamente el montaje a nivel laboratorio.

**Figura 10.** Montaje Experimental.



Para la puesta en marcha del sistema, se inoculó al reactor directamente agua residual proveniente del colegio, ya que al ser de tipo domestico posee una serie de microorganismos importantes para degradar la carga orgánica de la misma, y se ubicó el sistema a escala de laboratorio en un lugar seco, con el fin, de mantener la temperatura entre 20 y 25 °C y así, favorecer el crecimiento microbial. Cabe resaltar que dos veces por semana de operación, se cargó el tanque de alimentación con muestras compuestas del afluente con el fin de mantener constantes los caudales según el tiempo de retención hidráulico escogido en la semana y así evitar que parámetros como la DQO cambiaran con el paso del tiempo.

Según el diseño experimental de otros autores como Díaz López<sup>37</sup>, el sistema funciona por un periodo de 4 semanas, desde el 24 de abril del 2017 hasta el 22 de mayo del mismo año. Las dos primeras semanas se utilizaron para alcanzar las condiciones de equilibrio en el lodo, mientras que las restantes se emplearon para obtener los datos necesarios que permitieran analizar las constantes de crecimiento biológico dentro del reactor y su eficacia en la clarificación del afluente. El sistema se operó en función de 4 tiempos de retención hidráulico, y se despreció el tiempo de retención celular, debido a que, se eliminó la placa regulable del tanque de aireación, y cuya función era permitir la recirculación del lodo.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Díaz López, Varilia Quiroga. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. Revista tecnológica Universidad del Bosque, p24.

<sup>38</sup> RAMALHO. Rubens. Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 2003. p. 301.

En cuanto al control y monitoreo del modelo a escala se escogió la DQO como parámetro para medir la cantidad de sustrato (S) en diferentes intervalos de tiempo, como se mencionó anteriormente, dado que este parámetro a diferencia de la DBO<sub>5</sub> soluble puede ser calculado en un menor tiempo. En la siguiente Tabla, se describe detalladamente el proceso de monitoreo y demás variables analizadas.

**Tabla 8.** Datos del programa de monitoreo.

Parámetro Analizado	Frecuencia	Afluente	Cámara de aireación	Efluente
DQO	2 veces/semana	X		X
Oxígeno Disuelto	1 vez/semana		X	
MLSSV	2 veces/semana		X	
pH	3 veces/semana		X	
Temperatura	3 veces/semana		X	
SST	1 vez/semana	X		X

La Tabla 9, describe por su parte los procedimientos estandarizados, a nivel de laboratorio que se usaron para la medición las variables de control y sus respectivas unidades de cuantificación.

**Tabla 7.** Métodos usados para el análisis de las variables de control en el sistema de lodos activados.<sup>39</sup>

Parámetro Analizado	Unidades	Método
DQO	mg/L	Reflujo cerrado y volumetría con solución FAS
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	Winkler
MLSSV	mg/L	Calcinación a 550°C
pH	-	Electrodo
Temperatura	°C	Termométrico
SST	mg/L	Filtración y secado a 110°C

### 4.3 CALCULOS Y RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el sistema es operado en función del tiempo de retención hidráulico, se establecieron cada semana los caudales de alimentación de agua residual cruda mediante la ecuación 4.

<sup>39</sup> INVEMAR. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos [Disponible en internet] <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf> [consulta el 12 de mayo de 2017]

**Ecuación 4.** Caudal en función del tiempo de retención hidráulico.

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

$$Q = \frac{1,650 L}{3 \text{ horas}} = 0,55 \frac{L}{h}$$

$$Q = \frac{1,650 L}{5 \text{ horas}} = 0,33 \frac{L}{h}$$

$$Q = \frac{1,650 L}{7 \text{ horas}} = 0,24 \frac{L}{h}$$

Dado que, el reactor es pequeño, y que el monitoreo se podía realizar por 8 horas cada día, se alimentó agua residual al reactor por 3 horas con un caudal de 0,55 L/h, para todos los días de la primera y segunda semana, 5 horas para la tercera semana y 7 horas para la última semana. El periodo de aireación para cada día fue de 8 horas, pasado este tiempo, se apagaba la bomba de suministro de aire y se continuaba al otro día.

**Tabla 9.** Tiempo de retención hidráulico y caudal suministrado al tanque por semana.

<b>Semana</b>	<b>Duración (días)</b>	<b><math>\theta</math>(horas)</b>	<b>Caudal (L/h)</b>
1-2	14	3	0,55
3	7	5	0,33
4	7	7	0,24

Como ya se mencionó en la tabla 9, los procedimientos de obtención para los parámetros fisicoquímicos determinados a escala de laboratorio, se basan en el Manual de técnicas analíticas para la determinación parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. En el Anexo E, se encuentran consignados los cálculos correspondientes para los parámetros que se detallan a continuación.

**Tabla 10.** Valores promedio semanales de OD, pH y temperatura.

Semana	OD(mg/L)	pH	Temperatura(°C)
1	4,4	6,7	21,3
2	4,2	7,3	23,3
3	4,8	7,5	23,7
4	4,8	7,2	22,3
<b>Media</b>	4,6	7,2	22,7
<b>Desviación estándar</b>	0,3	0,3	1,1

**Tabla 11.** Valores semanales de SST en el afluente y efluente.

Semana	Afluente SST (mg/L)	Efluente SST (mg/L)	% Remoción
1	144	114	20,83
2	154	45	70,78
3	136	38	71,01
4	153	25	83,66
<b>Media</b>	146,75	55,5	-
<b>Desviación estándar</b>	8,46	39,87	-

**Tabla 12.** Valores semanales para DQO y MLVSS.

Semana	DQOA (mg/L)	DQOE (mg/L)	% Remoción	XMLVSS
1	560	320	42,86	101
2	544	352	35,29	107
3	512	256	50,00	112
4	528	176	66,67	116
	576	128	77,78	154
	544	112	79,41	153
	560	112	80,00	161
<b>Media</b>	544	220	-	129,14
<b>Desviación estándar</b>	21,52	101,19	-	25,66

A pesar de que, la obtención cuantitativa de los parámetros fisicoquímicos, descrito en las tablas 12 y 13, indica que el sistema de tratamiento propuesto alcanza valores de remoción de sólidos suspendidos totales de 83% y de sustrato del 80%, durante las 4 semanas de operación, es necesario determinar por medio de los datos experimentales, el comportamiento y velocidad de degradación de los microorganismos que se encuentran en el montaje, puesto que, el estudio cinético no solo es la parte más relevante del tratamiento biológico, sino que, dicho estudio permite suministrar información importante para la construcción del reactor aerobio.

Las constantes cinéticas del proceso de lodos activados, están relacionadas directamente con la tasa de crecimiento de los microorganismos, por lo que, involucran aquellas condiciones a las que se debe someter el sistema para asegurar la reproducción de los organismos unicelulares. Es por ello que el exceso o carencia de sustrato en la cámara de aireación, la temperatura, el pH e incluso la tasa de aireación, va a reflejar el comportamiento de los microorganismos a nivel experimental. A continuación, se hará una descripción de las constantes más importantes del proceso de fangos activados.

$K$ = Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de microorganismo.

$K_s$ = Constante de velocidad mitad, concentración de sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento.

$K_d$ = Coeficiente de descomposición endógena.

$Y$ = Constante de producción de lodos, definido como la relación entre la masa de crecimiento de células nuevas y la masa de sustrato consumido.<sup>40</sup>

Como se puede apreciar, las constantes cinéticas suponen tres momentos importantes en el crecimiento microbiano, es decir que,  $K$  y  $Y$ , son los coeficientes que describen el momento en el que los microorganismos usan el sustrato necesario para producir nuevas células, por su parte,  $K_s$  es el coeficiente que describe el comportamiento que tienen los microorganismos cuando la concentración de sustrato es limitada, y  $K_d$  es aquel que representa aquellos organismos que se encuentran en la fase de respiración endógena o muerte<sup>41</sup>. A continuación, se presentan los datos en función del sustrato y la deducción de las

---

<sup>40</sup> (EDDY & METCALF). Op., cit., p.423

<sup>41</sup>. MENDEZ, GERARDO. Cinética del tratamiento biológico de aguas residuales para reusó en irrigación de áreas verdes de la ciudad universitaria. [Disponible en internet]. <http://eprints.uanl.mx/6840/1/1020072398.PDF> [Consulta el 16 de mayo de 2017]

ecuaciones de Metcalf & Eddy, que fueron usadas para el cálculo de las constantes cinéticas.

- Para la obtención de K y Ks

Partiendo de la ecuación resultante del balance de masa en condiciones estacionarias:

$$(S_0 - S) - \theta \left( \frac{kXS}{K_s + S} \right) = 0$$

**Fuente:** Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ecuación 8.26, p429.

$$(S_0 - S) = \theta \left( \frac{kXS}{K_s + S} \right) \quad (1)$$

$$\frac{(S_0 - S)}{\theta X} = \left( \frac{kS}{K_s + S} \right)$$

Invirtiendo la ecuación se obtiene finalmente:

$$\frac{\theta X}{(S_0 - S)} = \frac{(K_s + S)}{kS}$$

**Ecuación 5.** Ecuación linealizada para la obtención de K y Ks.

$$\frac{\theta X}{(S_0 - S)} = \left( \frac{K_s}{k} \right) * \frac{1}{S} + \frac{1}{k}$$

- Para la obtención de los coeficientes “Y” y “Kd”.

Se parte de la ecuación resultante del balance de microorganismos, dando como resultado la siguiente ecuación

$$X = \frac{Y(S_o - S)}{1 + K_d \theta}$$

**Fuente:** Metcalf & Eddy. Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ecuación 8.27, p430.

Resolviendo paso a paso, como se describe a continuación, se obtiene la ecuación 6, para la determinación de los coeficientes cinéticos.

$$\frac{X}{(S_o - S)} = \frac{Y}{1 + K_d \theta}$$

$$\frac{S_o - S}{X} = \frac{1 + K_d \theta}{Y}$$

$$\left(\frac{S_o - S}{X}\right) Y = 1 + K_d \theta$$

$$\left(\frac{S_o - S}{X}\right) Y = \theta \left(\frac{1}{\theta} + K_d\right)$$

**Ecuación 6.** Ecuación linealizada para la obtención de "Kd" y "Y".

$$\left(\frac{S_o - S}{X\theta}\right) Y - K_d = \frac{1}{\theta}$$

Teniendo en cuenta que, la obtención de las ecuaciones resultantes para la determinación de los coeficientes cinéticos se realiza, a partir de, la tabulación de los datos experimentales medidos en el intervalo de operación, se descarta el primer dato de la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mixto (X), según el cálculo de las desviaciones estándar presentados en el anexo E, dado que se considera un dato atípico o un error de medición frente a los otros datos, y por tanto, la tabulación de este con el sustrato y el tiempo de retención hidráulico genera una dispersión en la tendencia o comportamiento de los microorganismos.

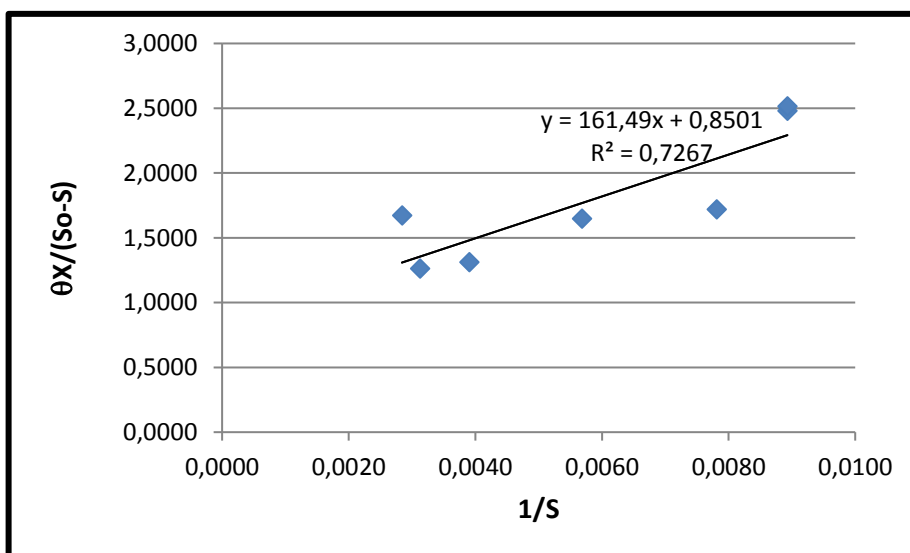


**Tabla 13.** Datos para la determinación de los coeficientes cinéticos.

Semana	$\frac{1}{S}$	$\frac{\theta X}{(S_0 - S)}$	$\frac{S_0 - S}{X\theta}$	$\frac{1}{\theta}$
1	0,0031	1,2625	0,7921	0,3333
2	0,0028	1,6719	0,5981	0,3333
	0,0039	1,3125	0,7619	0,3333
3	0,0057	1,6477	0,6069	0,2000
	0,0078	1,7188	0,5818	0,2000
4	0,0089	2,4792	0,4034	0,1429
	0,0089	2,5156	0,3975	0,1429

La determinación de K y Ks, se realizó mediante la ecuación 5 señalada anteriormente, graficando los valores los valores de la primera y segunda columna correspondientes a los ejes "X" y "Y" respectivamente. De esta manera, la pendiente de la ecuación de la recta presentada en la gráfica 1, corresponde al término Ks/K y el punto de corte a la expresión 1/K.

**Gráfica 1.** Determinación de K y Ks.

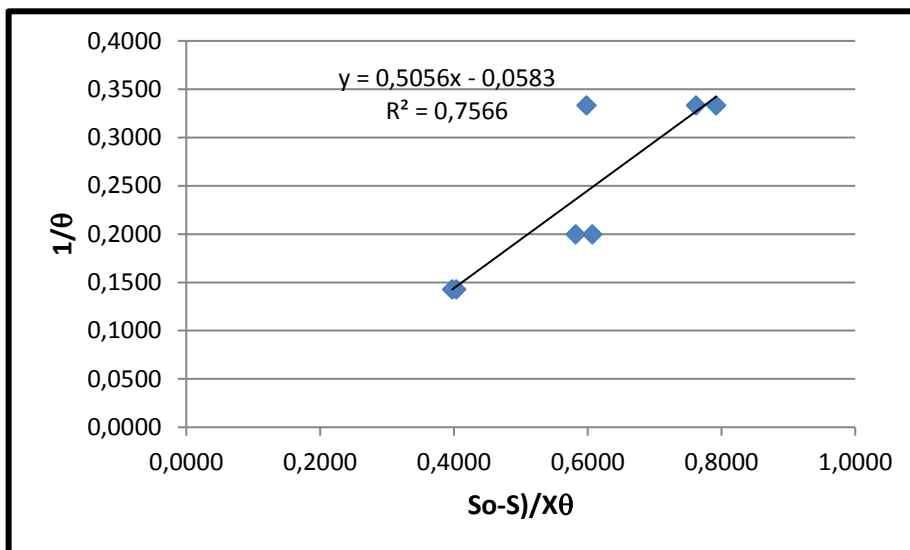


$$\frac{1}{K} = 0,8501$$

$$K = \frac{1}{0,8501} = 1,1763 \text{ dia}^{-1}$$

$$K_s = K * 161,49 = 189,96 \frac{mg}{L}$$

**Grafica 2.** Determinación de Y y Kd.



Por su parte, la determinación de los coeficientes de Y y Kd, se realizó de manera similar al caso anterior, se graficaron los datos de la tercera columna correspondientes al eje X, contra los datos de la columna 4 en el eje Y.

$$-K_d = -0,0583$$

$$K_d = 0,0583 \text{ dias}^{-1}$$

$$Y = 0,5056 \frac{mg \text{ células formadas}}{mg \text{ sustrato consumido}} = 0,5056 \frac{mg \text{ SSV}}{mg \text{ DQO}}$$

Los coeficientes cinéticos del agua residual domestica proveniente de las actividades realizadas en el colegio San Viator, son reportados en la tabla 14, y sus respectivos valores al ser comparados con los coeficientes típicos de aguas residuales establecidos por la literatura (Ver Tabla 15), permiten dar una explicación concreta de las condiciones ambientales y requerimientos nutricionales que son necesarios para favorecer el crecimiento de los microorganismos que será abordada en la sección 4.4 de este capítulo.

**Tabla 14.** Resultado de los coeficientes cinéticos obtenidos a nivel experimental.

<b>Coeficientes cinéticos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
K	Días <sup>-1</sup>	1,18
Ks	mg/L	189,96
Y	mg SSV/mg DQO	0,51
Kd	Días <sup>-1</sup>	0,058

**Tabla 15.** Coeficientes cinéticos típicos de aguas residuales en base a DQO.<sup>42</sup>

<b>Coeficientes cinéticos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Rango</b>	<b>Valor Típico</b>
K	Días <sup>-1</sup>	2,0-10	5,0
Ks	mg/L	25-100	60
Y	mg SSV/mg DQO	0,25-0,4	0,4
Kd	Días <sup>-1</sup>	0,04-0,075	0,06

En cuanto a la clarificación de las muestras de agua analizada, se puede evidenciar en la siguiente figura la eficiencia del tratamiento de lodos activados entre el afluente y efluente.

**Figura 11.** Comparación entre el afluente y efluente.



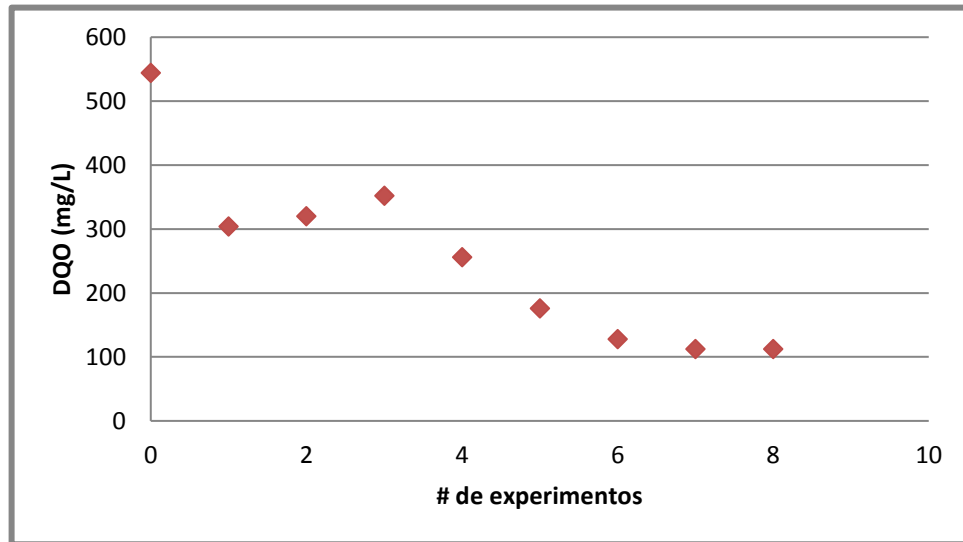
<sup>42</sup> MENDEZ, GIRARDO. Op, cit., p.16.

#### 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el periodo de operación del reactor, hay que considerar varios factores que influyen en la eficiencia de remoción del sistema de lodos activados, en primer lugar y como ya se había mencionado en la sección 4.1 de este capítulo, variables como la temperatura, el pH y el suministro de oxígeno son parámetros que inciden de forma directa en el crecimiento microbiano. A partir de esto, se determinó que la temperatura de la cámara de aireación se encontraba en un rango entre 20-25°C, y cuyos valores indican que la actividad metabólica de los microorganismos se ve favorecida, el oxígeno disuelto por su parte, no mostro diferencias significativas durante las 4 semanas, indicando valores entre 4,4 y 4,8 mg/L que son aceptables, teniendo en cuenta que el valor recomendado es 2 mg/L, sin embargo, dicho rango da a entender que, si se mejora el suministro de aire, la actividad metabólica de los microorganismos presentes aumenta y por ende se va a degradar con mayor eficiencia la cantidad de materia orgánica que entra al sistema.

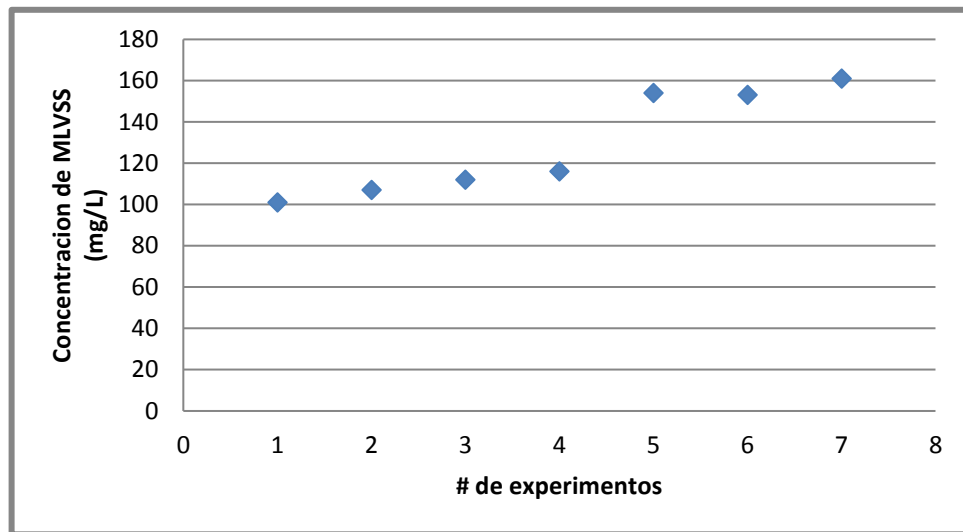
Por otra parte, los cálculos presentados en la tabla 12 y la gráfica 3, reflejan que en las dos primeras semanas de operación, consideradas como la fase de aclimatación del sistema, se alcanzaron niveles promedio de DQO en el efluente entre 312 y 304 mg/L, que corresponden a una eficiencia de remoción del 40% aproximadamente. Sin embargo, entre la tercera y cuarta semana los valores promedio de DQO en el efluente fueron de 152 y 112 mg/L, alcanzando una remoción final del 80%. Lo cual indica, que el caudal de alimentación de la fase inicial o de estabilización, establecido para un tiempo de retención hidráulico de 3 horas para cada día, fue el adecuado para que las bacterias sobrevivieran y pudieran reproducirse a partir del consumo de limitado de sustrato, de esta manera y conforme se aumentó el caudal de alimentación para un tiempo de retención hidráulico de 7 horas, los microorganismos ya estabilizados, a las condiciones ambientales y a los aportes nutricionales brindados por el afluente, crecieron de forma exponencial para degradar el exceso de materia orgánica producto del agua residual, y así alcanzar el porcentaje de remoción anteriormente mencionado.

**Grafica 3.** Concentración de DQO en el efluente en función de los experimentos realizados en el periodo de operación del reactor a escala.



Por otro lado, y continuando con el análisis del crecimiento bacterial, la gráfica 4, demuestra que sólidos suspendidos volátiles, con el paso de los días aumentan su volumen, desde 101 hasta 161 mg/L, siendo marcada la diferencia entre la segunda y tercer semana de operación, la explicación de esta característica es que a medida que aumenta el caudal de entrada, los microorganismos se ven en la necesidad de consumir todo el sustrato que se les brinda como alimentación, lo que posteriormente, se traduce en el crecimiento de la masa activa de células nuevas. Esto a su vez puede llegar a ser un problema con el tiempo, puesto que, la acumulación de lodos en el sistema puede traer taponamientos en el reactor y disminuir la eficiencia de la tasa de aireación, haciendo que las bacterias entren en la fase endógena de su ciclo de vida y no consuman el sustrato de la forma adecuada, por lo cual se tiene que considerar una mejora del sistema que permita la purga de lodos.

**Grafica 4.** Concentración de MLVSS respecto a los experimentos realizados en la operación del sistema a escala de laboratorio.



En cuanto a la obtención de los coeficientes obtenidos experimentalmente que se presentan en la tabla 15 y su comparación con los datos típicos obtenidos por otros autores, es necesario entender que la interpretación de los coeficientes parte del desarrollo de ecuaciones empíricas propuestas por diferentes autores, y sus valores varían entre diversos tipos de agua residual. Sin embargo, los datos reportados en la tabla 16, indican que los valores obtenidos en la experimentación se encuentran dentro de los rangos típicos, excepto el coeficiente “Ks”, cuyo valor de 189,96 mg/L, está muy por encima del valor establecido reportado por aguas residuales domésticas, lo que hace pensar dos cosas, la primera que el sistema fue alimentado con un exceso de sustrato, que permitió que la tasa de crecimiento aumentara considerablemente, y la segunda, que los microorganismos necesitan poco sustrato para metabolizar su crecimiento. Por otra parte, el valor de  $1,18 \text{ día}^{-1}$  correspondiente al coeficiente “K”, se encuentra en el valor mínimo del rango recomendado, e indica que el sustrato es biodegradable por las bacterias encontradas en el lecho. La constante Y, por su parte, es aquella que estima la cantidad de lodo producido en el sistema, en este caso su valor es de 0,51 mgSSV/mgDQO, el cual, está mínimamente fuera del rango establecido, lo que hace pensar, que existe una concentración de sólidos provenientes del afluente en el reactor, debido a que, dicho flujo de agua no fue sometido a una sedimentación previa a la entrada del tanque de aireación, sin embargo, presenta una buena respuesta de producción de lodo, pues el sistema que se pretende construir tampoco cuenta con una sedimentación primaria. El valor de la constante  $K_d=0,058 \text{ días}^{-1}$ , se encuentra dentro del valor típico de los datos reportados en este tipo de agua residual, e indica que existe un equilibrio entre la fase de crecimiento y de depredamiento de microorganismos.<sup>43</sup>

<sup>43</sup> MENDEZ, GIRARDO. Op., cit., p 56.

Finalmente, y teniendo en cuenta los aspectos anteriormente analizados, se puede concluir que el tratamiento evaluado a escala de laboratorio sirve para la remoción efectiva de carga orgánica presente en las aguas residuales del colegio San Viator, y por ende las constantes cinéticas resultantes, se utilizaran en el cálculo de las dimensiones, de los equipos presentados en el capítulo 5,

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

De acuerdo con la metodología experimental planteada, los equipos involucrados en la propuesta, la cinética del proceso y teniendo en cuenta las características del agua residual proveniente del colegio San Viator, es necesario realizar el dimensionamiento de equipos y así lograr una evaluación apropiada del sistema de tratamiento por lodos activados.

A partir de esto, se describen las dimensiones y especificaciones técnicas de los tres equipos más importantes en el proceso: Tanque de homogenización, Reactor aerobio y clarificador secundario. Sin embargo, y como parte de un tren de tratamiento más completo, que permita la mayor clarificación del agua, se plantearán las especificaciones y dimensiones básicas de una etapa de desinfección por filtración ascendente y los lechos de secado de lodos, que como su nombre lo indica son aquellas estructuras que se encargan de secar los lodos purgados del sistema.

### 5.1 TANQUE DE HOMOGENIZACION

El tanque de homogenización, como se había mencionado en el capítulo 2 sección 2.2, es una unidad que está diseñada para soportar picos de caudal que puedan presentarse en el sistema de tratamiento. A pesar de que, el colegio San Viator dentro de su estructura preliminar ya posee un tanque de homogenización, se hará el respectivo dimensionamiento de esta unidad, con el fin de corregir o asegurar que la unidad existente resista los picos de caudal para el nuevo tratamiento de sus vertimientos.

Los parámetros de diseño se basan en un método simplificado, mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 7.** Volumen del tanque de homogenización.

$$V_T = Qd * P_p$$

Fuente: Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (Vol. 1). McGraw-Hill, p 237,

En donde:

$Qd$  = Caudal de diseño.

$P_p$  = Periodo de picos.



$V_T$  = Volumen Total del homogeneizador.

En este caso, y asumiendo el rol de diseñador se considera que el cálculo del volumen del tanque, es a partir, del caudal de aguas residuales propuesto en la sección 2.4.3. Por su parte, se asumió un periodo de picos de 2 horas que corresponde al tiempo en el que se presenta el caudal máximo, debido a las actividades llevadas a cabo por los integrantes del colegio.

Por tanto:

$$V_T = 116,12 \frac{m^3}{dia} * 2 horas \left( \frac{1 dia}{24 horas} \right)$$
$$V_T = 9,67 m^3$$

Se propone entonces la ampliación del tanque de homogenización con geometría rectangular anexo a la estructura preliminar y cuyo volumen sea de 10 m<sup>3</sup>. Por lo cual, se establece una relación de longitud/ancho de 1,25 y un rango de profundidad del tanque entre 2 y 5 m.<sup>44</sup>

**Tabla 16.** Resumen de los parámetros para la unidad de homogenización.

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen de homogeneizador	m <sup>3</sup>	10,0
Ancho de homogeneizador	m	2,0
Largo de homogeneizador	m	2,5
Profundidad del homogeneizador	m	2,0

## 5.2 REACTOR AEROBIO

El dimensionamiento del reactor se realizó a partir de los datos obtenidos experimentalmente, y con base en los procedimientos y ecuaciones utilizadas por Ramalho.<sup>45</sup>

El proceso a escala real, generalmente es construido en tanques de concreto con un caudal constante de alimentación proveniente de tanques de homogenización construidos para tratamientos primarios o preliminares. Sin embargo, y como una modificación adicional, el reactor va a ser construido en poliéster reforzado en fibra

<sup>44</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008), Op.,cit., p 1093.

<sup>45</sup> RAMALHO, Op., cit., p 412.

de vidrio, con una geometría cilíndrica, debido a que, no solo es un material característico en las plantas de tratamiento fabricadas en Eduardoño, sino que a su vez es resistente a la abrasión, flexible, de fácil instalación y fácil reparación.

Según Ramalho, las variables fundamentales, para el diseñador de un reactor aerobio para fangos activados, son la concentración de MLVSS tanto en el reactor, como en la corriente de purga, dado que, dicha concentración representa la masa activa de microorganismos capaces de degradar la carga orgánica del afluente. Sin embargo, otras variables como la edad de lodos y el tiempo de aireación, se tienen que considerar para el diseño del tanque de aireación, a continuación se detallan los siguientes parámetros y sus valores típicos.

**Tabla 17.** Parámetros de Diseño en lodos activos.<sup>46</sup>

Parámetro	Sistema convencional
MLVSS reactor(mg/L)	1500-3000
Edad de lodos (días)	5-15
Tiempo de retención hidráulico (horas)	4-8

Para el caso del tiempo de retención celular o edad de lodos, se escogió un valor de 9 días para el sistema convencional, teniendo en cuenta que, dentro el rango establecido por la tabla 18, valores entre 9 y 12 días, además de, remover el 95% de la DBO carbonácea, ocurre el proceso de nitrificación, que consiste en remover el nitrógeno amoniacal, que es considerado toxico para las fuentes receptoras de agua, en este caso el humedal de Torca-Guaymaral.<sup>47</sup> Por su parte, la concentración de solidos suspendidos volátiles en el reactor, será de 3000 mg/L, que es el valor máximo del rango establecido por los parámetros de diseño.

En cuanto a la cantidad de sustrato tanto en el inicio como al final, se asumió un valor de 300 mg/L de DBO en el afluente, correspondiente. al resultado de la caracterización descrito en el capítulo 2 sección 2.3. Para el dato de salida se hace uso de la normatividad vigente de vertimientos líquidos (resolución 0631 de 2015) en Colombia, y cuyo valor estipulado debe ser inferior a 90 mg/L.

La DBO de salida se calcula de la siguiente manera, y partiendo de la base que la eficiencia del sistema es de 85%.

$$S_{Final} \leq S_0 - (S_0 \cdot 0,85)$$

$$S_{Final} \leq 300 \frac{mg}{L} - \left( 300 \frac{mg}{L} \cdot 0,85 \right)$$

<sup>46</sup> (EDDY & METCALF), Op, cit, p 626.

<sup>47</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008), Op., cit., p 490.

$$S_{Final} \leq 45 \frac{mg}{L}$$

**Tabla 18.** Parámetros de diseño del reactor aerobio según los datos escogidos.

Parámetro	Sistema convencional
MLVSS reactor(mg/L)	3000
Edad de lodos (días)	9
Y (mg/mg)	0,51
Kd (d <sup>-1</sup> )	0,058
So (mg/L)	300
S <sub>final</sub> (mg/L)	45

Con base en la información anterior, el volumen del reactor se obtiene mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 8.** Determinación del volumen de reactor.

$$V = \frac{\theta_c^d * Q * Y(S_0 - S)}{X * (1 + K_d \theta_c^d)}$$

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.  
Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería.2008. p. 466

$$V = \frac{9 \text{ dias} * \left(\frac{116,12 \text{ m}^3}{\text{dia}}\right) * 0,51 (300 - 45) \frac{mg}{L}}{3000 \frac{mg}{L} * (1 + 0,058 * 9 \text{ dias})} = 29,77 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el colegio San Viator, cuenta con dos periodos de vacaciones durante el año, así como la mayoría de colegios en Colombia, se asume la construcción de dos módulos cilíndricos de 15 m<sup>3</sup>, con el fin de aumentar el tiempo de retención hidráulico y celular, y que de esta manera las bacterias sobrevivan con mayor facilidad, puesto que la construcción de un solo modulo en el periodo de vacaciones hará que el sistema trabaje a tiempos de retención celular muy bajos, provocando no solo que la totalidad de microorganismos mueran, sino que se tengan varios periodos de estabilización durante el año.

Por tanto, para la construcción de dos módulos con un volumen de 15 m<sup>3</sup> y una altura de 2 metros:

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 h$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} = \sqrt{\frac{15m^3}{\pi * 2m}}$$

$$r = 1,54 m$$

$$D = 2 * r = 3,09m \approx 3,0 metros$$

**5.2.1 Cálculos para la demanda bioquímica de oxígeno soluble.** La demanda bioquímica de oxígeno soluble se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 9.** Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno soluble.

$$Masa de DBO_L \left( \frac{kg}{d} \right) = \frac{Q * (S_0 - S) * \left( 10^3 \frac{g}{Kg} \right)^{-1}}{f}$$

Fuente: Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (Vol. 1). McGraw-Hill, p 610, ec (10,5).

Dónde:

Q: Caudal

So: Concentración DBO de entrada

S: Concentración DBO de salida

f : Factor de conversión

Asumiendo que el factor de conversión de DBO<sub>5</sub> en DBO<sub>L</sub> es 0,68 (Metcalf y Eddy, 1985)

$$Masa de DBO_L \left( \frac{kg}{d} \right) = \frac{116,12 \frac{m^3}{dia} * (300 - 45) mg/L}{0,68 * 1000} = 43,55 \frac{Kg}{dia}$$

**5.2.2 Cálculos para la cantidad de lodo a purgar.** Para conocer la cantidad de lodo a purgar, inicialmente se determina el coeficiente real de crecimiento de lodos, mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 10.** Coeficiente real de crecimiento de lodos.

$$Y_{OBSERVADA} = \frac{Y}{1 + (K_d * \theta_c^d)}$$

Fuente: Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (Vol. 1). McGraw-Hill, p 430, ec (8,29).

$$Y_{OBSERVADA} = \frac{0,51 \frac{mg}{L}}{1 + \left(\frac{0,058}{d} * 9d\right)} = 0,335 \frac{mg}{L}$$

La producción de lodos por su parte está determinada por la siguiente ecuación:

**Ecuación 11.** Determinación para la producción de lodos.

$$Px = Y_{OBS} * Q * (S_0 - S) * \left(1 * 10^3 \frac{g}{Kg}\right)^{-1}$$

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. p. 472

Entonces,

$$Px = \frac{0,335 \frac{mg}{L} * 116,12 \frac{m^3}{dia} * \frac{(300 - 45)mg}{L}}{1000 \frac{g}{Kg}} = 9,92 \frac{Kg}{dia}$$

Para el cálculo del lodo utilizando la línea de retorno del fango utilizamos la siguiente ecuación:

**Ecuación 12.** Determinación del caudal de purga de lodos.<sup>48</sup>

$$Q_w = \frac{V * X}{\theta_c^d * X_r + Q_e X_e}$$

Dónde:

Xr: Concentración de Lodos en la línea de retorno 8000 mg/L.

Qe: Caudal del efluente tratado, m<sup>3</sup>/día

Xe: Concentración de SSV en el efluente tratado, mg/L

$$Q_w = \frac{30 \text{ m}^3 * 3000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{9 \text{ dias} * 8000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

En este caso, se elimina el segundo término del denominador QeXe, bajo el supuesto de que en el tanque de aireación se elimina la totalidad de carga orgánica y la cantidad de células en el efluente es muy pequeño.

Por otra parte, es importante conocer la concentración de microorganismos tanto en el reactor como en el lodo de retorno, en este último se asumió un valor de 8000 mg/L, dado que, el valor es usado por Metcalf & Eddy en el diseño de plantas de tratamiento por sistemas convencionales de fangos activados.

**5.2.3 Cálculos para el oxígeno requerido en el aireador.** La necesidad de oxígeno se puede calcular de la DBO del agua residual y de la cantidad de organismos purgados diariamente del sistema. La ecuación presentada se encuentra a continuación:

**Ecuación 13.** Determinación del oxígeno requerido en el sistema.

$$OR = DBO_L - 1,42 * P_X$$

Fuente: Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. (Vol. 1). McGraw-Hill, p 610, ec (10,4).

<sup>48</sup> ZARATE, VICTORIA. ESTUDIOS DE SEDIMENTACION DE LODOS SECUNDARIOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL ESTADO DE NUEVO LEON [Disponible en internet]< <http://eprints.uanl.mx/7466/1/1020112237.PDF> > [Consulta el 20 de mayo de 2017]

Entonces,

$$OR \left( \frac{kg}{dia} \right) = 43,55 \frac{kg}{dia} - \left( 1,42 * 9,92 \frac{kg}{dia} \right)$$
$$OR = 29,46 \frac{kg}{dia} = 0,00034 \frac{kg}{s}$$

El cálculo del caudal de oxígeno necesario en función de la carga volumétrica que ingresa al sistema será:

**Ecuación 14.** Determinación de la carga volumétrica.

$$Carga\ volumetrica \left( \frac{kg\ DBO}{m^3} \right) = \frac{SoQ}{Vr}$$

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2008. p. 447.

$$Carga\ volumetrica \left( \frac{kg\ DBO}{m^3} \right) = \frac{300 \frac{mg}{L} * 116,12 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{10^{-6}kg}{mg}}{30 m^3}$$
$$Carga\ volumetrica = 1,16 \frac{kg\ DBO}{m^3\ dia}$$

Asumiendo una concentración del oxígeno en el aire de 23% el volumen de aire requerido, para la remoción de la carga volumétrica planteada, será:

$$Aire\ para\ reaccion = \frac{OR}{carga\ volumetrica * 0,23}$$
$$Aire\ para\ reaccion = \frac{29,46 \frac{kg}{dia}}{1,16 \frac{kg}{m^3} * 0,23} = 110,419 \frac{m^3}{dia}$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone la instalación de un compresor o soplador, como instrumento para el suministro de oxígeno, debido a que, es una maquina utilizada para el desplazamiento y compresión del aire, a través de,

difusores porosos encontrados en el lecho del tanque de aireación. A continuación, se describe el cálculo de la potencia requerida para el sistema de aireación.

**Ecuación 15.** Determinación de la potencia del compresor.

$$P = \frac{WRT}{8,41 * E} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Dónde:

*W*: Caudal de Oxígeno requerido. Kg/s

*R*: Constante de los gases para aire, 8,314 kJ/ mol °K

$\frac{P_2}{P_1}$ : Relación entre la presión final y la presión inicial de la succión del gas= 1.1<sup>49</sup>

*T*: Temperatura ambiental, 20°C para el caso de Bogotá.

*E*: Eficiencia fraccional del compresor, 0,70-0,90.

$$P = \frac{0,00034 * 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{°K}} * (20 + 273,15)}{8,41 * 0,7} * (1,1^{0,283} - 1) = 1,88 * 10^{-3} \text{kW}$$

Con base en lo presentado anteriormente, para el suministro de 29,46 Kg O<sub>2</sub>/día es necesario un compresor de una potencia relativamente baja, se plantea la instalación de un sistema de aireación de 1HP (0,74 kW), dado que, esta es la potencia mínima para un soplador de tipo industrial.

### 5.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO

El objetivo de esta unidad es propiciar que los biosólidos provenientes de la unidad de lodos activados se separen del líquido en los cuales están suspendidos. La clarificación se considera entonces un proceso complementario, pero no por eso menos importante que el anterior, por lo que, en esta unidad se pretende que la carga contaminante sea eliminada.

En un decantador secundario se diferenciará principalmente entre dos zonas: una en la parte superior, que se suele denominar zona de agua clarificada, y otra en la parte más profunda, conocida como zona de espesamiento o de concentración del fango. Los parámetros de diseño de esta unidad se basan en determinar el área

<sup>49</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008), Op., cit., p 408.



superficial que permite que la velocidad ascensional (caudal que sale por el o los vertederos superficiales, sin tener en cuenta el caudal de recirculación de fangos), del agua residual proveniente del reactor de lodos activados se encuentre entre 9 - 16 m/día como lo establece la teoría.<sup>50</sup>

Cabe resaltar que el área superficial de los decantadores circulares, también puede ser calculada, mediante otro parámetro de diseño, como es la carga de sólidos, y que define la superficie requerida para un adecuado espesamiento de lodos. A continuación, se detallan los valores típicos de dichos parámetros en sistemas de media y baja carga.<sup>51</sup>

**Tabla 19.** Parámetros de diseño en la decantación secundaria.

Parámetro	Unidades	Baja carga	Media carga
Velocidad Ascensional	m/h	0,25-0,7	0,5-1,0
	m/día	9-16	12-24
Carga de solidos	kg SS/m <sup>2</sup> h	3,0-6,0	3,0-6,0

- Área superficial mínima requerida

$$Asr = \frac{Q}{V_{sc}}$$

Fuente: INDITEX. Fichas técnicas de procesos unitarios de plantas de tratamiento.

Donde,

$Asr$  = Área superficial.

$Q$  = Caudal de diseño.

$V_{sc}$  = Velocidad ascensional.

$$Asr = \frac{116,12 \frac{m^3}{día}}{9 \frac{m}{día}} = 12,9 m^2$$

Asumiendo que la unidad tiene una geométrica cilíndrica se propone:

<sup>50</sup> Ibid., p 644.

<sup>51</sup> INDITEX. FICHAS TÉCNICAS DE PROCESOS UNITARIOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. [Disponible en internet] <https://www.wateractionplan.com/documents/186210/186348/INDITEX-FT-BIO-001-FANGOSACTIVOS.pdf/8a5c0312-27f1-413f-ac22-d1568fd8f1ec> [Consulta el 25 de mayo de 2017]

$$D = \sqrt{\frac{4 Asr}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 12,9m^2}{\pi}} = 4,05 m$$

## 5.4 ESPECIFICACIONES DE UNIDADES ADICIONALES EN EL TREN DE TRATAMIENTO.

**5.4.1 Unidad de filtración ascendente.** Como ya se había mencionado al principio del capítulo, es un proceso complementario, que se realiza en un lecho mixto conformado por gravas y arena. En esta unidad las partículas que logran escapar del clarificador quedan retenidas por medio de dos mecanismos distintos, primero, por un mecanismo de transporte (cernido y movimiento inercial) y segundo un mecanismo de adherencia (fuerzas electrostáticas, fuerzas de Van Der Waals y enlace químico). En este tipo de equipos, muchos son los sistemas propuestos, dependiendo de la dirección del flujo y el tipo de lecho filtrante, este último por lo general puede llegar a ser bajo un solo medio, arena o antracita, o un medio dual, en el cual se involucran ambos. Teniendo en cuenta esto, el área requerida se calcula, dependiendo la tasa de filtración que se establece según el sistema de filtración, como se muestra a continuación.<sup>52</sup>

**Tabla 20.** Parámetros de diseño en los filtros.<sup>53</sup>

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	<12 m/d	120 m/d	180-480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	-	Fino a grueso	Grueso a fino
Profundidad del medio	0,6-1,0 m	0,60 -0,75	Antracita: 0,4-0,6m Arena: 0,15-0,3 m
Profundidad de grava	0,30 m	0,30-0,45 m	0,30-0,45 m

<sup>52</sup> ROMERO, ROJAS. POTABILIZACION DEL AGUA, 1999, p 199.

<sup>53</sup> *Ibíd.*, p 200.

Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo, se escogió un filtro de tasa alta, y por medio del caudal medio de producción de agua residual y la tasa de filtración, se calcula el área requerida partiendo del principio de dinámica de fluidos:

$$Area = \frac{Caudal}{Velocidad \text{ o tasa de filtracion}}$$

$$Area = \frac{116,12 \frac{m^3}{día}}{180 \frac{m}{día}} = 0,65 m^2$$

Siendo el filtro a presión un equipo con geometría cilíndrica, las dimensiones propuestas son:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Area}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,65 m^2}{\pi}} = 0,90 m$$

Cabe resaltar, que esta unidad al ser diseñada para la remoción de partículas suspendidas por medios porosos, requiere de un estricto mantenimiento, en este caso, es necesario un retrolavado del filtro. Esta maniobra se realiza en sentido contrario al flujo normal del fluido con agua limpia.

**5.4.2 Etapa de desinfección.** Corresponde a la etapa en la que se realiza la reducción de los microorganismos patógenos presentes en el agua, por medio de un periodo de contacto entre el cloro y el agua proveniente de la filtración ascendente. Entre mayor sea el tiempo de contacto más efectivo será su propósito.

Para conocer el volumen necesario del tanque, se propone realizar el cálculo a partir de una modificación de la ecuación 3, con un tiempo de contacto de 120 minutos, para la destrucción efectiva de las bacterias patógenas

$$V = Qd * Tc$$

Donde,

Qd= caudal de diseño

Tc= tiempo de contacto de cloro y el agua filtrada.

V= Volumen del tanque de contacto.

$$V = 1,34 \frac{L}{s} * 120 \text{ min} * \left( \frac{60s}{1 \text{ min}} \right) = 9648 \text{ litros}$$

Por lo tanto, se propone la instalación de un tanque de 10000 litros de capacidad.

**5.4.3 Lechos de secado.** Los lechos de secado corresponden a un proceso natural, en que el agua contenida intersticialmente entre las partículas de lodos es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos ya que está previsto un secado lento. El periodo de tiempo entre la entrada de los lodos y la recogida de sólidos en estado adecuado, varía entre 15 y 20 días, según la naturaleza del lodo.

El cálculo del área semanal de los lechos de secado requerida para recibir los lodos generados en los procesos de retrolavado y purgas en el clarificador, se realiza partiendo, de que la producción máxima diaria de lodos con concentración del 1.0% sólidos, es el valor del caudal de purga de lodos provenientes del reactor, correspondiente a 1,25 m<sup>3</sup>/d, y asumiendo dichos lodos al deshidratarlos, aumentan su concentración de sólidos entre 0,5 y 5 %, como lo indica la literatura. Se realiza un balance de masa que permita calcular el caudal de lodo espesado que se espera en los lechos de secado.<sup>54</sup>

$$Qw \text{ esperado} * C \text{esperada} = Q \text{inicial} * C \text{inicial}$$

$$Qw \text{ esperado} = \frac{1,25 \frac{m^3}{\text{dia}} * 1\%}{5\%} = 0,25 \frac{m^3}{\text{dia}} = 1,75 \frac{m^3 \text{ de lodo esperados}}{\text{semana}}$$

Teniendo en cuenta esto, y asumiendo que según la literatura debe existir una capa de arena de espesor entre 0,20 -0,30 m<sup>55</sup>, Se determina el área en función del volumen y el espesor.

<sup>54</sup> (ROJAS, POTABILIZACION DEL AGUA, 1999), Op., cit., p 292.

<sup>55</sup> (ROJAS, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORIA PRINCIPIOS Y DISEÑO., 2008) Op., cit., p 292.

$$\text{Area del lecho} = \frac{\text{Volumen esperado de lodo por cada semana}}{\text{Espesor de capa}}$$

$$\text{Area de lecho} = \frac{1,75 \frac{\text{m}^3 \text{ de lodo esperados}}{\text{semana}}}{0,20 \text{ m}} = 8,75 \text{m}^2$$

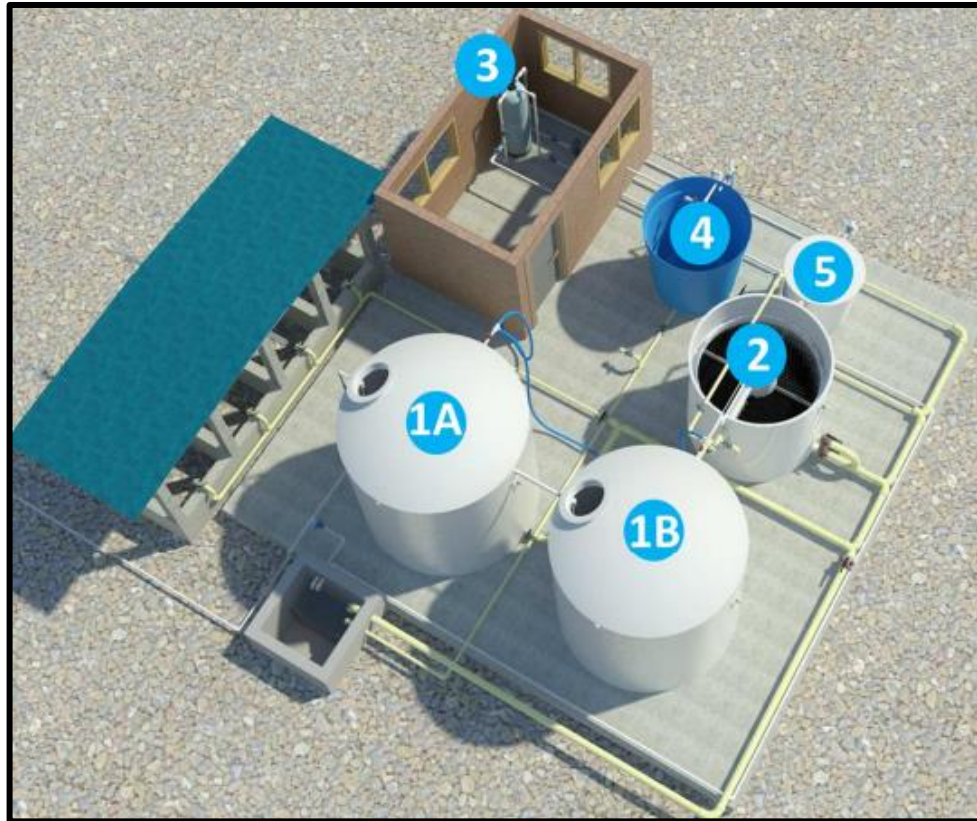
Por tanto, de 1,75 m<sup>3</sup> de lodos producidos por semana, es necesario la construcción de un lecho de secado de aproximadamente 9 metros cuadrados para su disposición. Sin embargo, se propone la construcción de 3 camas de secado de 3,0m x 3,0m x 1,0m y de esta manera brindar una posibilidad de secado de 21 días.

Como conclusión de este capítulo y para mayor entendimiento, se muestra a continuación, un diagrama general de los componentes involucrados en el tratamiento de lodos activados y su descripción en la tabla 21.

**Tabla 21.** Componentes del sistema de tratamiento de la figura 12.

Ítem	Componente
1 A	Reactor aerobio # 1
1 B	Reactor aerobio # 2
2	Clarificador secundario
3	Filtro a presión de flujo ascendente
4	Etapas de desinfección- tanque de contacto

**Figura 12.** Componentes de un sistema de tratamiento biológico.



Fuente: AGUDELO OSORIO, Gilberto. Diagrama de un tren de tratamiento de aguas residuales por lodos activados e instalado por Eduardoño S.A.

Para un tren de tratamiento más completo, es necesaria la instalación de tres electrobombas encargadas de la alimentación y descarga de los caudales que van dirigidos hacia el tanque de aireación, la etapa de desinfección y los lechos de secado, una bomba para el suministro de oxígeno y los instrumentos de monitoreo exigidos para cada una de las unidades descritas anteriormente, tales como, válvulas, medidores de oxígeno, pH, temperatura y el porcentaje de lodos contenido en el reactor aerobio, por medio del cono imhoff.

Cabe resaltar como conclusión de este capítulo, que cada uno de los componentes que conforman el tren de tratamiento tiene una configuración cilíndrica hermética, con el fin de brindar la seguridad a cada uno de los estudiantes que conforman el plantel educativo, especialmente los niños de primaria y preescolar, que pueden verse involucrados en serios accidentes cuando las unidades son abiertas al ambiente.

## 6. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En el siguiente capítulo se presenta el desarrollo de una propuesta de costos para la implementación del sistema de tratamiento propuesto, y el cual incluye los costos de operación, costos de inversión tanto en servicios como en mano de obra y contratación de personal capacitado y especializado. Con estos parámetros se pretende demostrar la viabilidad económica que tiene la ejecución del proyecto al colegio San Viator. Así mismo, y a modo de evaluación se pretende mostrar las repercusiones económicas o sanciones, que acarrea no dar cumplimiento a la normatividad y no tener un sistema de tratamiento adecuado para verter los residuos líquidos al humedal de torca-Guaymaral.

### 6.1 COSTO DE INVERSIÓN

Para la estimación de costos de inversión, se debe tener en cuenta todos los aspectos para la instalación y operación del tratamiento, esto incluye los valores en pesos para la adquisición de nuevos equipos, basados en la capacidad en metros cúbicos de las unidades construidas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PFRV), cuyo material es una solución innovadora, que permite mayor durabilidad y resistencia a la abrasión, frente a los equipos comúnmente construidos por grava y cemento, en las plantas de lodos activados.

De acuerdo, con el dimensionamiento planteado en el capítulo 5, se presentan en la siguiente tabla, los equipos más relevantes para la instalación del tren de tratamiento, así como la cantidad y su valor unitario.

**Tabla 22. Costo de equipos para el sistema de tratamiento.**

<b>Equipos</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Electrobomba	Potencia: 2HP	3	\$ 943.000	\$2.829.000
Soplador de aire	Potencia: 1,5 KW a 3500 rpm	1	\$2.593.800	\$2.593.800
Válvulas de mariposa	PVC de 4"x 4 unid.	1	\$402.032	\$402.032
Válvulas de bola	PVC 2" x 26 unid	1	\$113.605	\$113.605
Medidor de OD	<b>Rango OD:</b> 0,0 - 50.00 mg/L	1	\$3.083.990	\$3.083.990
Tanque de aireación (*)	PRFV -10 m <sup>3</sup>	2	\$25.600.900	\$51.201.800
Tanque Clarificador (*)	PRFV-10 m <sup>3</sup>	1	\$18.900.000	\$18.900.000
Filtro a presión (*)	Tanque polyglass 16"	1	\$2.630.800	\$2.630.800

Continuación Tabla 23				
Equipos	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Instalación y puesta a punto (*)	-	1	\$13.110.900	\$13.110.900
<b>Subtotal</b>				<b>\$93.924.727</b>
<b>IVA 19%</b>				<b>\$1.714.261</b>
<b>Total, costos de los equipos</b>				<b>\$95.638.988</b>

\*Dichos productos ya tienen el IVA

Por otra parte, y como un gasto adicional, es necesario incluir los gastos de mano de obra para la construcción de las adecuaciones físicas, previas a la instalación del sistema de tratamiento, como lo es la superficie donde van ubicadas las unidades de lodos activados y su respectivo vallado, que mantiene aislada la planta de los estudiantes del colegio. Para este caso, se recomienda la contratación de dos personas para realizar dicha labor por un tiempo de dos meses, bajo un contrato de obra y labor. Por lo tanto, se presenta a continuación todos los gastos que puede generar un trabajador en este tipo de contrato.

**Tabla 23.** Gastos de mano de obra para la construcción de las adecuaciones físicas del proyecto.

Obreros	Valor mensual
Tiempo contratado	2 meses
Cantidad	2
Salario	\$737.717
Auxilio de transporte	\$83.140
Salud (8.5%)	\$62.706
Pensión (12%)	\$88.526
Riesgos laborales (IV)	\$ 32.091
Valor mes laborado	\$1.004.180
<b>Total</b>	<b>\$2.008.360</b>

$$\text{Costos de inversion} = \$95.638.988 + \$2.008.360 = \$97.647.348$$

## 6.2 COSTOS ANUALES DE OPERACIÓN

Dentro los gastos de operación, se vinculan aquellos gastos relacionados con el funcionamiento de los equipos o dispositivos instalados, y bajo esta idea se considera que el consumo de energía de las respectivas unidades y la mano de obra realizada por los operarios, son relevantes a la hora de la determinación de dicho valor.



**6.2.1 Gastos de personal.** Teniendo en cuenta, que el tren de tratamiento cuenta con 3 unidades básicas, se recomienda la contratación de dos personas capacitadas para asegurar un correcto funcionamiento de la planta. En este caso, se contará con un operario encargado del control del proceso, durante los meses en los que los estudiantes residan en la institución, y un técnico de mantenimiento que se contratará tres veces al año por un periodo de 8 horas, para llevar a cabo la verificación, limpieza y/o reparación de los equipos involucrados.

De esta manera, y partiendo de que el tiempo de trabajo de la planta es de 11 meses aproximadamente, y cuyo salario mínimo legal vigente por mes según el plan único de cuentas PUC, es de 737.717 COP<sup>56</sup>, se presentan los datos para el cálculo de los gastos de personal.

**Tabla 24.** Gastos anuales de personal de trabajo.

Ítem	Valor	Valor
Perfil del empleado	Operario	Técnico en mantenimiento
Tiempo contratado	11 meses	8 horas cada 4 meses
Cantidad	1	1
Salario	\$737.717	\$45.000 hora
Auxilio de transporte	\$83.140	N/A
Salud (8.5%)	\$62.706	N/A
Pensión (12%)	\$88.526	N/A
Vacaciones	\$30.738	N/A
Cesantías	\$ 68.405	N/A
Riesgos laborales (IV)	\$ 32.091	N/A
Valor mes laborado	\$1.103.323	\$360.000
<b>Total</b>	<b>\$12.136.553</b>	<b>\$1.080.000</b>

**6.2.2 Costos de servicios (Energía eléctrica).** En la siguiente tabla se muestra la descripción del consumo de energía eléctrica por parte de las bombas utilizadas en el montaje de la planta de tratamiento y teniendo en cuenta el tarifario establecido por codensa en este sector.<sup>57</sup>

<sup>56</sup> SALARIO MINIMO PARA EL 2017. [Disponible en internet]. Web < <http://puc.com.co/2016/01/salariominimo-2017> [Consulta el 25 de mayo 2017]

<sup>57</sup> TARIFAS DE ENERGIA ELECTRICA REGULADAS POR LA COMISION DE REGULACION DE ENERGIA Y GAS (CREG) mayo de 2017. [Disponible en internet]. < <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas> [Consulta el 25 de mayo 2017]

**Tabla 25.** Costos anuales de servicios de energía eléctrica.

<b>Equipos</b>	<b>Horas de operación al día</b>	<b>Cantidad por hora (kW/h)</b>	<b>Costo unitario (\$/kWh)</b>	<b>Costo Mensual</b>	<b>Costo Anual</b>
Electrobombas	8	1.47	498,45	\$175.853	\$1.934.383
Soplador de aire	24	1.5	498,45	\$538.326	\$5.921.586
<b>Total, costos de servicios</b>					<b>\$7.855.969</b>

De acuerdo con la información detallada anteriormente, se calculó el costo anual del sistema de tratamiento de aguas propuesto. Sin embargo, es importante aclarar que los costos presentados no incluyen la disposición final de los lodos generados en cada etapa del proceso, por lo cual se debe tener en consideración una vez seleccionado el proceso adecuado.

*Costo anual del tratamiento:* \$7.855.969 + \$12.136.553 + \$1.080.000

*Costo anual =* \$21.072.522

### 6.3 COSTOS POR SANCIONES

Cuando una persona natural o jurídica, no cumple con un requerimiento legal se le impone una multa o sanción económica, en este caso, se calcula el valor de la multa correspondiente al no cumplir las normatividades ambientales, mediante la metodología presentada en la Resolución 2086 de 2010, expedida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, que tiene como base la siguiente ecuación:

**Ecuación 16.** Determinación de la sanción ambiental.

$$Multa = B + [(\alpha * i) * (1 + A) + Ca] * C$$

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 4

A partir de la siguiente ecuación, se describen a continuación cada una de sus variables para la obtención cuantitativa de la multa.

**6.3.1 Beneficio ilícito (B).** Este factor indica, la ganancia que obtiene el infractor producto de una conducta inapropiada para la legislación, y viene determinado por los términos (Y) y (P), donde el primero representa la sumatoria de costos directos, costos evitados, y ahorro retrasado, mientras que el segundo, hace referencia a la capacidad de detección de la conducta del infractor por la autoridad ambiental, como se muestra en la siguiente ecuación:

**Ecuación 17.** Cálculo del beneficio ilícito.

$$B = \frac{Y * (1 * P)}{P}$$

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 4

Para el tratamiento de aguas residuales, solo se tiene en cuenta la variable de costos evitados, dado que este criterio, representa el ahorro económico que obtiene el colegio San Viator, al evitar las inversiones en infraestructura o sistemas de tratamiento que ayuden a mitigar el grado de afectación ambiental. En este caso, la variable es determinada por los costos de inversión para la implementación del tratamiento (CE) y la tarifa única de sobre la renta gravable (T), que según la ley 633 de 2000 corresponde al 33%, para sociedades comerciales.<sup>58</sup>

**Ecuación 18.** Costos evitados en el sistema de tratamiento.

$$Y_2 = CE * (1 - T)$$

Donde,  
CE: Costos evitados  
T: Impuesto

$$Y_2 = \$97.647.348 * (1 - 0.33) = \$65.423.723$$

La capacidad de detección de la conducta del infractor por la autoridad ambiental de la inversión (p) viene determinada por 3 niveles, bajo (P=0.4), medio (P=0.45) y alto (P=0.5)<sup>59</sup>. En este caso, se le otorga el nivel más alto de capacidad de

<sup>58</sup> Ley 633 de 2000 - Capítulo IX - Tarifas del Impuesto de Renta

<sup>59</sup> Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental: Manual conceptual y

detención al colegio San Viator, puesto que, los vertimientos generados por las actividades escolares, puede traer repercusiones no solo en la salud de sus alumnos, sino afectaciones al ecosistema del humedal de Torca-Guaymaral.

Por ende, el beneficio ilícito, para el colegio San Viator

$$B = \frac{\$65.423.723 * (1 - 0,5)}{0,5} = \$65.423.723$$

**6.3.2 Grado de afectación (i).** Este criterio, como su nombre lo indica, es aquel que cuantifica, a partir de, una ponderación el grado de relevancia de la afectación, producto de las actividades realizadas en la institución educativa, de modo que indica, el monto que se debe pagar por el daño que se está haciendo sobre el ambiente. Dicha ponderación se determina mediante la calificación de una serie de atributos consignados en la resolución 2086 de 2010, y cuyos valores de calificación son presentados en el siguiente cuadro.

**Cuadro 9.** Identificación y valoración cualitativa de los atributos.

<b>Atributos</b>	<b>Definición</b>	<b>Valor</b>
Intensidad (IN)	Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección.	4
Extensión (EX)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno	4
Persistencia (PE)	Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción	1
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente.	1
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.	1

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental: Manual conceptual y procedimental

---

procedimental (2010). Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales. Bogotá, D.C, p.10.

Una vez valorados los atributos, se procede a determinar la importancia de la afectación como medida cualitativa del impacto. La calificación de la importancia está dada por la ecuación:

**Ecuación 19.** Determinación de la importancia de la afectación.

$$I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC$$

$$I = (3 * 4) + (2 * 4) + 1 + 1 + 1 = 23$$

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 4

Una vez determinada la importancia de la afectación, cuyo valor se ubica en un rango de importancia moderada (21-40), de acuerdo a la clasificación presentada en la metodología del cálculo de la sanción, se procede a determinar el cálculo del grado de la afectación en pesos colombianos, el cual esta función del salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV), mediante la ecuación 20.

**Cuadro 10.** Clasificación de la importancia de la afectación.<sup>60</sup>

Atributo	Descripción	Calificación	Rango
Importancia (I)	Medida cualitativa del impacto a partir de la calificación de cada uno de sus atributos	Irrelevante	8
		Leve	9-20
		Moderada	21-40
		Severa	41-60
		Crítica	61-80

**Ecuación 20.** Valor en pesos colombianos del grado de afectación.

$$i = 22.06 * SMMLV * I$$

$$i = 22.06 * \$737.717 * 23 = \$374.302.851$$

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 4

<sup>60</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Op., cit., p. 22

**6.3.3 Factor de temporalidad ( $\alpha$ ).** Este criterio considera la duración del hecho ilícito, identificando si éste se presenta de manera instantánea, continua o discontinua en el tiempo. La manera de calcularlo se encuentra asociada al número de días en los que se presenta la infracción. En este caso y como lo sugiere la literatura se considera instantánea la falta y se toma un valor de 1, 61 puesto que la autoridad ambiental no puede establecer la fecha de inicio y finalización de la infracción.

**6.3.4 Circunstancias agravantes y atenuantes (A).** Son factores o acciones que están asociados al comportamiento del infractor, y su ejecución, establece las bases para un procedimiento sancionatorio ambiental. A continuación, se muestra las circunstancias agravantes y atenuantes, así como su respectiva ponderación, según las tablas presentadas en el Artículo 9 de la Resolución 2086 de 2010 la calificación se hizo de la siguiente manera.

**Cuadro 11.** Ponderadores de las circunstancias agravantes y atenuantes.<sup>62</sup>

<b>Circunstancias Agravantes</b>	
Atentar contra recursos naturales ubicados en áreas protegidas, o declarados en alguna categoría de amenaza o en peligro de extinción, o sobre los cuales existe veda, restricción o prohibición	0.1 5
Realizar la acción u omisión en áreas de especial importancia ecológica	0.1 5
El incumplimiento total o parcial de las medidas preventivas	0.2
<b>Circunstancias atenuantes</b>	
Resarcir o mitigar por iniciativa propia el daño, compensar o corregir el perjuicio causado antes de iniciarse el procedimiento sancionatorio ambiental, siempre que con dichas acciones no se genere un daño mayor	- 0.4
<b>Total, A</b>	0.1

<sup>61</sup> *Ibíd.*, p. 25

<sup>62</sup> *Ibíd.*, p. 30.

**6.3.5 Costos asociados (Ca).** Son aquellos pagos cuya responsabilidad tiene el infractor ante la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio. En este caso el colegio san Viator, tiene que hacer diferentes pagos a laboratorios acreditados para la caracterización de sus vertimientos, e incluso llegar a contratar un vehículo vactor para recoger los vertimientos en el momento en el que la cantidad de carga orgánica sea muy elevada. De acuerdo a dicha información, el colegio asume unos costos promedios de \$1.500.000

**6.3.6 Capacidad socioeconómica del infractor (Cs).** Corresponde a las condiciones de una persona natural o jurídica que permiten establecer la capacidad de asumir una sanción pecuniaria. Teniendo en cuenta que el colegio es una institución con más de 50 años de funcionamiento se asume que es una persona jurídica de gran tamaño y su capacidad socioeconómica corresponde a un valor de 1,0, según la clasificación presentada en el cuadro 12.

**Cuadro 12.** Capacidad de pago conforme al tamaño de la empresa.<sup>63</sup>

Tamaño de la empresa	Factor de ponderación
Micro empresa	0.25
Pequeña	0.5
Mediana	0.75
Grande	1.0

A continuación, se detallan los respectivos valores de los criterios de la ecuación y el cálculo definitivo de la multa, teniendo en cuenta la ecuación 16.

**Tabla 26.** Criterios para la determinación de la sanción ambiental.

Criterios	Valor
Beneficio ilícito B	\$65.423.723
Factor de temporalidad	1.0
Grado de afectación y/o Evaluación de riesgo i	\$374.302.851
Circunstancias agravantes y atenuantes A	0.1
Costos Asociados Ca	\$1.500.000
Capacidad socioeconómica del infractor Cs	1.0

$$Multa = \$65.423.723 + [(1 * \$374.302.851) * (1 + 0.1) + \$1.500.000] * 1.0$$

$$Multa = \$478.656.859$$

<sup>63</sup> *Ibíd.*, p 33.

Los costos totales tanto de mantenimiento y operación del sistema, así como los gastos, por adquisición e instalación de los equipos que conforman el tren de tratamiento son de \$118.719.870, lo que traduce que llevar a cabo un sistema tratamiento por lodos activados, equivale al 25% del valor total de la multa impuesta por la secretaria de ambiente, al no cumplir con los requerimientos legales para el vertimiento de aguas residuales.



## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo con, el diagnóstico realizado y la caracterización efectuada en las fuentes de aguas residuales provenientes de las actividades escolares del colegio San Viator, se determinó que algunos de los parámetros fisicoquímicos, no cumplen con los requerimientos máximos permisibles establecidos por la Resolución 0631 de 2015, a pesar de que, se cuenta con un tratamiento preliminar para sus vertimientos. Dado que, los valores para la DQO, DBO<sub>5</sub> y SST son de 300, 600 y 250 mg/L respectivamente.
- Se plantearon tres alternativas del proceso de lodos activados, partiendo de que la relación entre DQO/DBO<sub>5</sub> es igual a 2, lo que indica que los residuos pueden ser degradados por medio de un proceso biológico y se escogió, a partir, de una matriz de selección basada en el método de priorización, el proceso convencional de lodos activados, teniendo en cuenta, su operatividad, la frecuencia en su mantenimiento, y el porcentaje de remoción teórico, que en este caso, es alrededor del 85-95%.
- Se desarrolló experimentalmente la alternativa seleccionada durante 4 semanas de operación, por medio de la construcción, puesta en marcha y monitoreo, de un montaje a escala de laboratorio de un proceso convencional de lodos activados, obteniendo eficiencias de remoción de DQO y SST, alrededor del 80% y 83,66% respectivamente. Por último, se determinaron las constantes cinéticas de crecimiento microbiológico, tales como “ $k=1,18 \text{ días}^{-1}$ ”, “ $K_s=189,96 \text{ mg/L}$ ”, “ $Y=0,51 \text{ mg SSV/mg DQO}$ ” y “ $K_d=0,058 \text{ días}^{-1}$ ”, a partir, de ecuaciones empíricas desarrolladas por Metcalf & Eddy.
- Se definen las dimensiones y requerimientos técnicos, de cada uno de los equipos involucrados para el diseño e implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, obteniendo el diseño de equipos tales como: Tanque de homogenización, reactor aerobio, clarificador secundario y consideraciones de la etapa de desinfección, a partir de un caudal de diseño de 116,12 m<sup>3</sup>/día.
- Se desarrolló un análisis de costos, para determinar la viabilidad económica de la propuesta planteada, y se determinó que los costos asociados con la instalación, mano de obra y costos de energía de la planta de tratamiento de aguas (\$118.719.870), son menores respecto a la sanción impuesta por no cumplir las disposiciones ambientales (\$478.656.859).

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el estudio de disposición y tratamiento de los lodos purgados en el reactor aerobio y el clarificador secundario.
- Se recomienda realizar un estudio microbiológico del inóculo utilizado, dado que esto permitiría identificar los microorganismos presentes en el proceso y así mismo relacionar las eficiencias de remoción de materia orgánica en función de los microorganismos encontrados.
- Se recomienda utilizar un reactor de mayor tamaño para facilitar la operación del mismo, así como, la instalación de una bomba peristáltica que permita controlar la dosificación del caudal de alimentación al sistema.
- Se sugiere realizar el montaje en condiciones opuestas a las planteadas en este trabajo de grado, es decir, en un reactor anaerobio y comparar los resultados.
- Se sugiere al colegio San Viator, realizar un mantenimiento cada 3 veces en el año, y así evitar taponamientos que disminuyan la eficiencia y funcionamiento del sistema de tratamiento por lodos activados.

## BIBLIOGRAFÍA

ALEJANDRA, O. (s.f.). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES*. Recuperado el 02 de 04 de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf>

CONAMA. (s.f.). *TECNOLOGIA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS*. Recuperado el 16 de 04 de 2017, de [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_30.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf)

DIAZ LOPEZ, V. Q. (2008). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO. *Revista tecnologica*, 24.

ECODENA. (s.f.). *NOTA INFORMATIVA SOBRE SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS*. Recuperado el 16 de 04 de 2017, de [http://www.ecodena.com.gt/descargas/Nota\\_informativa\\_lodos\\_activados\\_general\\_guatemala.pdf](http://www.ecodena.com.gt/descargas/Nota_informativa_lodos_activados_general_guatemala.pdf)

EDDY, & METCALF. (s.f.). *Ingenieria de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilizacion*. (Vol. 1). McGraw-Hill.

EDUARDOÑO. (s.f.). *Generalidades del pre-tratamiento de aguas residuales domesticas (ARD)*. Recuperado el 11 de 04 de 2017, de <http://www.eduardono.com/ambiental/fichas/ptard-aerobia.pdf>.

FERNANDO, G., & CRISTINA, R. (s.f.). *ARRANQUE Y OPERACION DE UN REACTOR EXPERIMENTAL DE LODOS ACTIVADOS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS*. Recuperado el 05 de 02 de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/977/1/luisfernandogiraldov.isabelcristinarestrepom.2003.pdf>

HERNANDEZ. (s.f.). *DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado el 02 de 04 de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

INDITEX. (s.f.). *FICHAS TÉCNICAS DE PROCESOS UNITARIOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado el 25 de 05 de 2017, de <https://www.wateractionplan.com/documents/186210/186348/INDITEX-FT-BIO-001-FANGOSACTIVOS.pdf/8a5c0312-27f1-413f-ac22-d1568fd8f1ec>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2008.

\_\_\_\_\_. Documentación. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2008.

\_\_\_\_\_. Documentación. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 1998.

INVEVAR. (s.f.). *MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y CONTAMINANTES MARINOS*. Recuperado el 12 de 05 de 2017, de <http://www.invevar.org.co/redcostera1/invevar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

MELGUIZO. (1994). *FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA E INSTALACIONES DE ABASTO EN LAS EDIFICACIONES*. Medellín.

MENDEZ, G. (1985). *CINÉTICA DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA REUSO EN IRRIGACIÓN DE ÁREAS VERDES EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA*. Monterrey.

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2010). *METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE MULTAS POR INFRACCIÓN A LA NORMATIVA AMBIENTAL*. Bogotá D.C.

NORA, R. (s.f.). *ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN UN REACTOR DE Lodos Activados*. Recuperado el 03 de 04 de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1075/1/noraximenariveraocampo.2003.pdf>

RAMALHO, R. (2003). *Tratamiento De Aguas Residuales*. . Barcelona: Editorial Reverté.

RAS. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES*. Recuperado el 03 de 04 de 2017, de [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4.\\_Sistemas\\_de\\_acueducto.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf)

REDONDO, L. (2007). *LA UTILIDAD DE LOS MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO EN UN ENTORNO DE COMPETITIVIDAD CRECIENTE*. Bogotá D.C.

REDONDO, L. (2011). *LOS MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO Y SU APLICACIÓN AL ANÁLISIS DEL DESARROLLO LOCAL*. ESIC.

ROJAS, R. (1999). *POTABILIZACIÓN DEL AGUA*.

ROJAS, R. (2008). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: TEORÍA PRINCIPIOS Y DISEÑO*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

SEDAPAL. (s.f.). *TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACION Y FLOCULACION*. Recuperado el 02 de 04 de 2017, de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

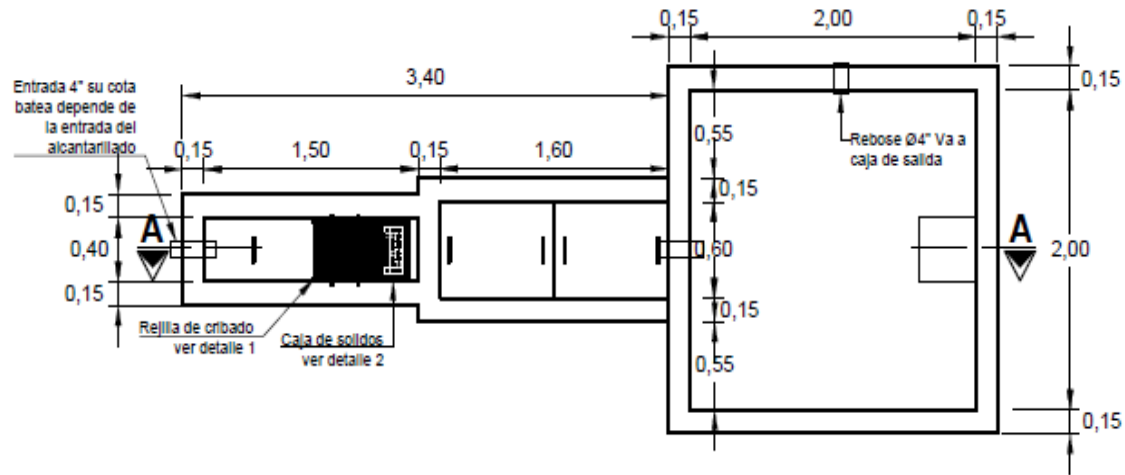
SERQUIMSA. (s.f.). *PARAMETROS DE CONTROL DE UN SISTEMA BIOLÓGICO*. Recuperado el 23 de 04 de 2017, de <http://www.serquimsa.com/articulo-informativo-mayo-2013/>

WEF. (s.f.). *MANUAL DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE LODOS ACTIVADOS*.

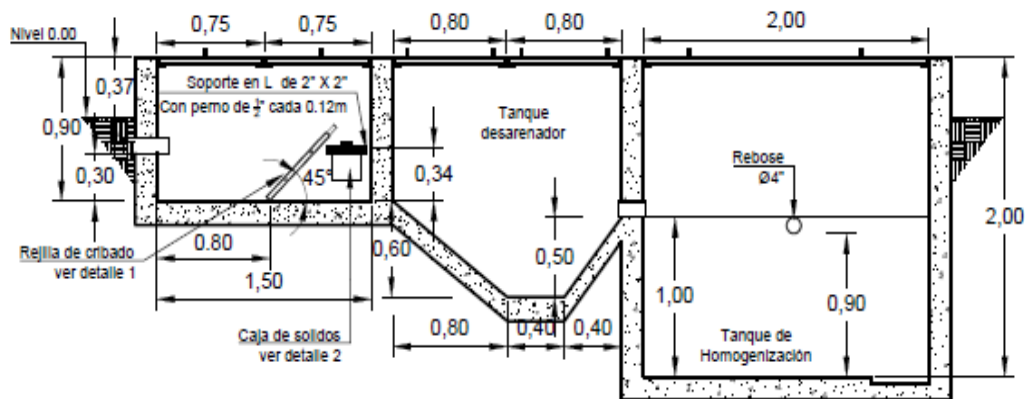
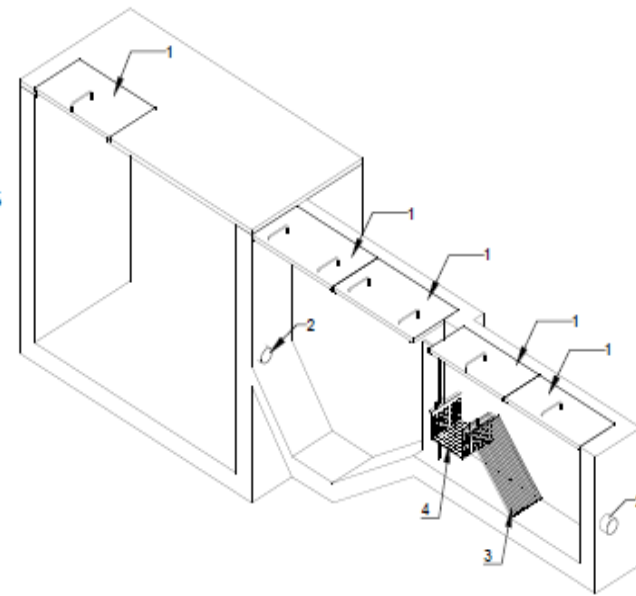
ZARATE. (s.f.). *ESTUDIOS DE SEDIMENTACION DE LODOS SECUNDARIOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado el 20 de 05 de 2017, de <http://eprints.uanl.mx/7466/1/1020112237.PDF>

## **ANEXOS**

## ANEXO A. PLANO DE ESTRUCTURA PRELIMINAR



1	Tapa en lamina alfajor $\frac{3}{16}$ " Material Aluminio
2	Tubo PVC 4"
3	Rejilla de cribado acero inox tipo 304
4	Caja de solidos



**ANEXO B.**  
**REPORTE DE RESULTADOS DE CARACTERIZACION**

<u>VER - RESULTADOS ESTADO AUD</u>				CÓDIGO: 137567
SEÑOR(ES): <u>COLEGIO SAN VIATOR</u>				
DIRECCIÓN: <u>AUTOPISTA NORTE NO. 209 - 51</u>		TELÉFONO: <u>3207228464</u>		
MUESTRA PROCEDENTE DE : <u>BOGOTA</u>		DEPARTAMENTO: <u>CUNDINAMARCA</u>		
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: <u>1 - COLEGIO SAN VIATOR</u>				
PUNTO DE CAPTACIÓN: <u>SALIDA ESTRUCTURA PRELIMINAR</u>				
TIPO DE MUESTRA : <u>AGUA RESIDUAL DOMESTICA</u>				
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: <u>04/04/2017</u>		HORA TOMA DE LA MUESTRA: <u>08:00H - 16:00H</u>		
FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: <u>4-ABR-2017</u>				
RESULTADOS				
ENSAYO	FEC-ANALISIS	MÉTODO	REFERENCIA	RESULTADO
a. 1 - D.B.O	05-ABR-2017	Incubación 5 días y Electrodo de membrana	SM 5210 B	300 mg/L O <sub>2</sub>
a. 2 - D.Q.O	05-ABR-2017	Reflujo abierto	SM 5220 B	600 mg/L O <sub>2</sub>
b. 3 - ENTEROCOCO SUB	05-ABR-2017	Sustrato Enzimático	SM 9230 D	3,9 E+04 NMP/100 mL
a. 4 - FOSFORO REACTIVO TOTAL	06-ABR-2017	Colorimetría	SM 4500 P-D	7,09 mg/L P
a. 5 - FOSFORO TOTAL	06-ABR-2017	Digestión - Acido Ascórbico	SM 4500-P B, E	9,2 mg/L P
a. 6 - GRASAS Y ACEITES	11-ABR-2017	Extracción Soxhlet	SM 5520 D	100 mg/L
a. 7 - IN SITU CAUDAL	04-ABR-2017	Volumétrico	NTC-ISO 5667-10	* L/s
a. 8 - IN SITU CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	04-ABR-2017	Electrométrico	SM 2510 B	819-922 µS/cm a 25°C
a. 9 - IN SITU PH	04-ABR-2017	Electrométrico	SM 4500-H+ B	6,0-7,25 Unidades
a. 10 - IN SITU SÓLIDOS SEDIMENTABLES	04-ABR-2017	Cono Imhoff	SM 2540 F	<0,1 mL/L
a. 11 - IN SITU TEMPERATURA	04-ABR-2017	Termómetro	SM 2550 B	16,8-21,0 °C
a. 12 - NITRATOS	06-ABR-2017	Espectrofotometría UV	SM 4500 NO3-B	0,4 mg/L N
a. 13 - NITRITOS	06-ABR-2017	Colorimetría	SM 4500 NO2-B	<0,007 mg/L N
a. 14 - NITROGENO AMONICAL - AMONIO	10-ABR-2017	Destilación y Volumétrico	SM 4500 NH3 B, C	37,8 mg/L N
a. 15 - NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	10-ABR-2017	Semi-micro Kjeldahl Destilación y Volumétrico	SM 4500 N ORG-C, 4500 NH3-B, C	49,6 mg/L N
a. 16 - SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	06-ABR-2017	Gravimétrico - Secado a 105°C	SM 2540 D	250 mg/L
a. 17 - TENSOACTIVOS ANIÓNICOS - SAAM	04-ABR-2017	Colorimetría	SM 5540 C	2,77 mg/L SAAM
FIN DEL REPORTE				
OBSERVACIONES: Muestra compuesta recolectada por personal de ANALQUIM LTDA. Procedimiento ANQ-PR-018				
Nombre del muestreador: Jeferson David Aldana Toro Tecnólogo en Desarrollo Ambiental. c.c. 1032440419 de Bogotá				
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22d Edition. 2012.				
a. Ensayos de laboratorio acreditados en Analquim Ltda. Res. No.1215 del 14 Jun 2016, 2147 del 23 de Sep 2016 y 2828 del 15 de Dic 2016. IDEAM.				
b. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) subcontratado con Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR Resolución 3134 de Diciembre 13 de 2013. IDEAM				
El parámetro de tensoactivos es reportado como SAAM calculado como LAS. (peso 288,38 g/mol).				
*No se mide caudal por condiciones del sistema				
El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco.				



**ANEXO C.**  
DESARROLLO DE LAS MATRICES PAREADAS POR EL METODO DE  
PRIORIZACION

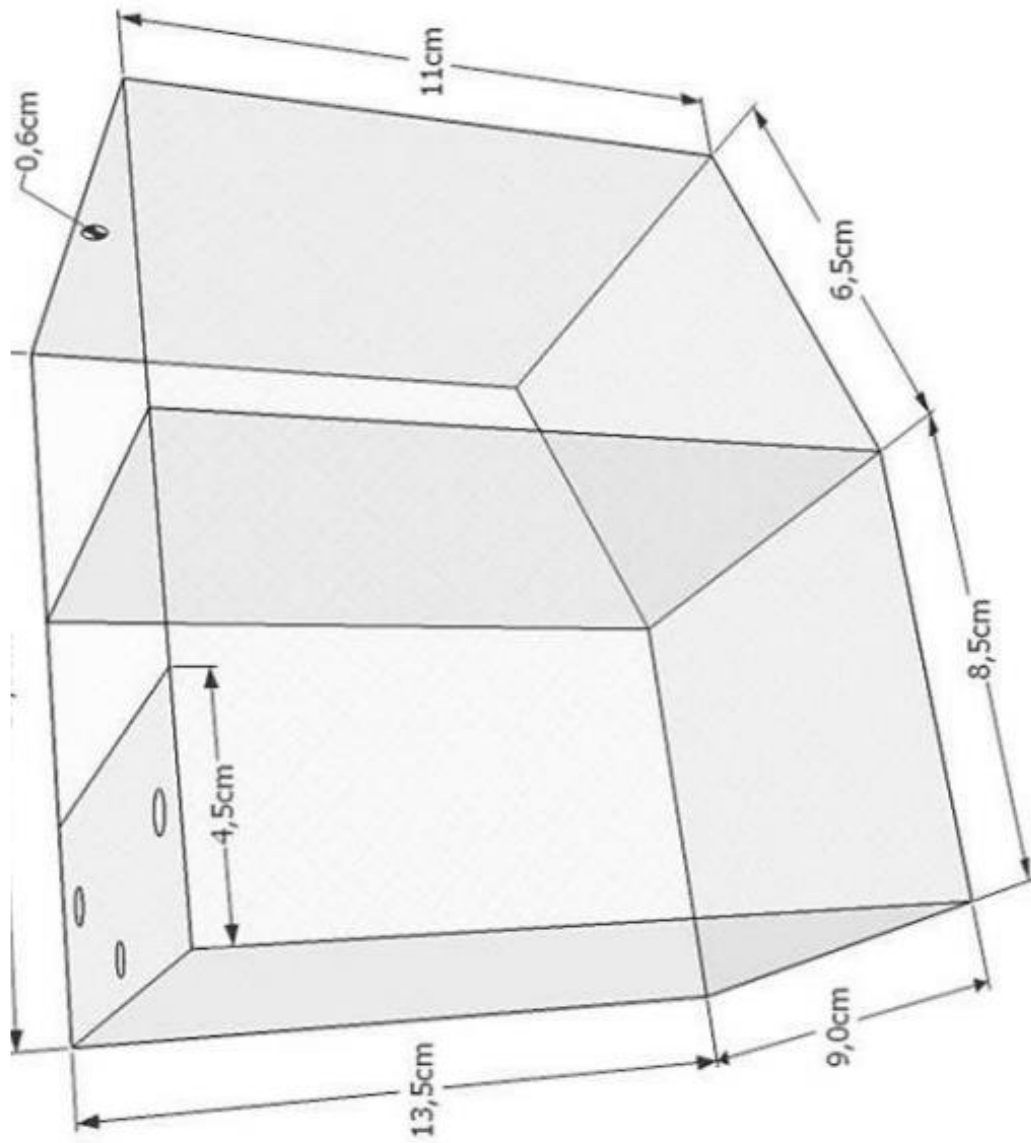
<b>Eficiencia de remoción</b>					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma ( $\alpha$ )	FP'
<b>Alternativa 1</b>	-	5	1	6	0,48
<b>Alternativa 2</b>	0,2	-	0,2	0,4	0,04
<b>Alternativa 3</b>	1	5	-	6	0,48
<b>Total</b>				12,4	

<b>Operatividad</b>					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma ( $\alpha$ )	FP'
<b>Alternativa 1</b>	-	5	10	15	0,59
<b>Alternativa 2</b>	0,2	-	10	10,2	0,40
<b>Alternativa 3</b>	0,1	0,1	-	0,2	0,01
<b>Total</b>				25,4	

<b>Mantenimiento</b>					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma ( $\alpha$ )	FP'
<b>Alternativa 1</b>	-	1	10	11	0,49
<b>Alternativa 2</b>	1	-	10	11	0,49
<b>Alternativa 3</b>	0,1	0,1	-	0,2	0,01
<b>Total</b>				22,2	

<b>Estabilidad del proceso</b>					
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma ( $\alpha$ )	FP'
<b>Alternativa 1</b>	-	0,2	0,2	0,4	0,04
<b>Alternativa 2</b>	5	-	1	6	0,48
<b>Alternativa 3</b>	5	1	-	6	0,48
<b>Total</b>				12,4	

**ANEXO D.**  
PLANO A ESCALA DEL REACTOR AEROBIO CONSTRUIDO EN ACRILICO



## ANEXO E.

### CALCULOS PARA LA OBTENCION DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO.

- CÁLCULOS PARA OXÍGENO DISUELTO

Para la obtención de este parámetro se usó el método Winkler, puesto que es uno de los métodos analíticos más usados en la actualidad. El cálculo del oxígeno disuelto se realiza gracias a la siguiente ecuación.

$$OD \left( \frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{V_{Tiosulfato} * N * 8000}{Vmuestra a titular}$$

De acuerdo, con la ecuación se utilizó una concentración de 0,025 N del reactivo titulante Tiosulfato de sodio en muestras de 100 mL, y a su vez se midió el volumen de titulante gastado, como lo establece el procedimiento del método Winkler.

Semana	Volumen de Tiosulfato gastado (mL)
1	2,2
2	2,1
3	2,5
4	2,5

$$OD \left( \frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{2,2mL * 0,025 * 8000}{100 mL} = 4,4 \frac{mg O_2}{L}$$

$$OD \left( \frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{2,1mL * 0,025 * 8000}{100 mL} = 4,2 \frac{mg O_2}{L}$$

$$OD \left( \frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{2,4mL * 0,025 * 8000}{100 mL} = 4,8 \frac{mg O_2}{L}$$

$$OD \left( \frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{2,4mL * 0,025 * 8000}{100 mL} = 4,8 \frac{mg O_2}{L}$$

- CÁLCULOS PARA DQO EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE.

La determinación de este parámetro se realizó con el método de reflujo cerrado por medio de una solución digestora de dicromato de potasio, pues es el más aceptado, debido a, su gran capacidad oxidativa, su aplicabilidad a una gran variedad de muestras y su fácil manipulación. La determinación cuantitativa se logró mediante la siguiente ecuación:

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(V_B - V_p) * N * 8000}{V_m}$$

Donde,

$V_B$ = Volumen del FAS usado para el blanco (mL)

$V_p$ = Volumen del FAS usado para la muestra (mL)

N= Normalidad de la Solución FAS

Semana	Volumen de FAS gastado (mL) Blanco	Volumen de FAS gastado (mL) Afluyente	Volumen de FAS gastado (mL) Efluyente
1	7,5	4,2	5,6
		4,0	5,5
2	7,5	4,1	5,3
		4,3	5,9
3	7,5	4,2	6,4
		3,9	6,7
4	7,5	4,1	6,8
		4,0	6,8

En este caso, la concentración de la solución titulante FAS es de 0,05N. Por lo que los cálculos se detallan a continuación:

- Afluyente (semana 1)

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(7,5 - 4,2) * 0,05N * 8000}{2,5 mL} = 528 \frac{mg}{L}$$

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(7,5 - 4,0) * 0,05N * 8000}{2,5 mL} = 560 \frac{mg}{L}$$

- Efluyente (semana 1)

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(7,5 - 5,6) * 0,05N * 8000}{2,5 mL} = 304 \frac{mg}{L}$$

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(7,5 - 5,5) * 0,05N * 8000}{2,5 mL} = 320 \frac{mg}{L}$$

Así mismo, se calcula el valor de la demanda química de oxígeno para las siguientes semanas, se detalla en la siguiente tabla.

<b>Semana</b>	<b>DQO Afluyente (mg/L)</b>	<b>DQO Efluyente (mg/L)</b>
1	528	304
	560	320
2	544	352
	512	256
3	528	176
	576	128
4	544	112
	560	112
<b>Media</b>	544	220
<b>Desviación Estándar</b>	20,95	99,65
<b>Min</b>	523,05	120,35
<b>Max</b>	564,95	319,65

Con el fin de determinar, la dispersión de los datos y los valores atípicos que son poco significativos en el proceso, en las 4 semanas de operación, se calculó la desviación estándar para los valores de DQO en el afluyente y en el efluente, por medio de la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde

$s$ : Desviación estándar

$x_i$ : Dato experimental

$\bar{x}$ : Media o promedio de los datos

$n$ : Numero de datos

Teniendo en cuenta lo anterior, los datos que presentan dispersión frente a los demás, son los obtenidos durante las 2 primeras semanas, debido a que hacen parte de la zona de aclimatación del sistema, sin embargo no se pueden descartar, puesto que, los valores se encuentran en el rango que refleja el cálculo de la desviación, y por ende, describen el comportamiento de los microorganismos en la remoción del sustrato.

- CALCULOS DE SST EN EL AFLUENTE Y EFLUENTE

Los cálculos para la obtención de los sólidos suspendidos totales, se realizó en base al método de determinación de sólidos en seco a 103-105°C, usando un medio filtrante y una bomba de vacío. La ecuación para su cuantificación es la siguiente.

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(m_2 - m_1) * 10^6}{Vmuestra}$$

Donde,

$m_2$ = Peso filtro +residuo (g)

$m_1$ = Peso filtro (g)

Semana	Afluente		Efluente	
	$m_1$	$m_2$	$m_1$	$m_2$
1	0,1041	0,1185	0,1038	0,1152
2	0,1062	0,1216	0,1062	0,1107
3	0,2037	0,2173	0,2044	0,2082
4	0,1126	0,1279	0,1118	0,1143

Los resultados para cada semana de solidos suspendidos totales se detallan a continuación:

- Para el afluente:

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1185 - 0,1041) * 10^6}{100mL} = 144 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1216 - 0,1062) * 10^6}{100mL} = 154 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,2173 - 0,2037) * 10^6}{100mL} = 136 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1279 - 0,1126) * 10^6}{100mL} = 153 \frac{mg}{L}$$

- Para el efluente:

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1152 - 0,1038) * 10^6}{100mL} = 114 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1107 - 0,1062) * 10^6}{100mL} = 45 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,2082 - 0,2044) * 10^6}{100mL} = 38 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1143 - 0,1118) * 10^6}{100mL} = 25 \frac{mg}{L}$$

Semana	Afluente SST (mg/L)	Efluente SST (mg/L)
1	144	114
2	154	45
3	136	38
4	153	25
<b>Media</b>	146,75	55,5
<b>Desviación estándar</b>	8,46	39,87

De igual forma, los valores de desviación estándar en la medición de los sólidos suspendidos totales (SST), indica que durante la primera semana, el dato obtenido para el efluente, representa el periodo de estabilización de la masa activa de microorganismos y por ende, dicho dato no representa relevancia en la remoción de sólidos, frente a los demás datos obtenidos en la operación del sistema convencional de lodos activados.

- CALCULOS PARA EL MLVSS EN EL REACTOR

La obtención de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado, se realiza en base al procedimiento de obtención de sólidos suspendidos descrito anteriormente. En este caso las ecuaciones son las siguientes:

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(m_2 - m_1) * 10^6}{Vmuestra}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = SST - \frac{(m_4 - m_3) * 10^6}{Vmuestra}$$

Donde,

$m_3$  = Peso de capsula (g)

$m_4$ =Peso de capsula con muestra calcinada (g)

Semana	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
1	0,1039	0,1156	67,7402	67,7457
	0,1041	0,1188	67,5423	67,5469
2	0,1063	0,1183	67,7402	67,7415
	0,1057	0,1187	67,7531	67,7549
3	0,2037	0,2216	69,1859	69,1922
	0,2038	0,2273	67,7402	67,7483
4	0,1006	0,1209	67,7531	67,7581
	0,1030	0,1244	67,5449	67,5502

- Para la semana 1

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1156 - 0,1039) * 10^6}{100mL} = 117 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 117 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,7457 - 67,7402) * 10^6}{100} = 62 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1188 - 0,1041) * 10^6}{100mL} = 147 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 147 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,5423 - 67,5469) * 10^6}{100} = 101 \frac{mg}{L}$$

- Para la semana 2

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1183 - 0,1039) * 10^6}{100mL} = 120 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 120 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,7415 - 67,7402) * 10^6}{100} = 107 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1187 - 0,1057) * 10^6}{100mL} = 130 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 130 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,7549 - 67,7531) * 10^6}{100} = 112 \frac{mg}{L}$$

- Para la semana 3

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,2216 - 0,2037) * 10^6}{100mL} = 179 \frac{mg}{L}$$



$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 179 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(69,1922 - 69,1859) * 10^6}{100} = 116 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,2273 - 0,2038) * 10^6}{100mL} = 235 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 235 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,7483 - 67,7402) * 10^6}{100} = 154 \frac{mg}{L}$$

- Para la semana 4

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1006 - 0,1209) * 10^6}{100mL} = 203 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 303 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,7531 - 67,7581) * 10^6}{100} = 153 \frac{mg}{L}$$

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,1030 - 0,1244) * 10^6}{100mL} = 214 \frac{mg}{L}$$

$$SSV \left( \frac{mg}{L} \right) = \left( 314 \frac{mg}{L} \right) - \frac{(67,5502 - 67,5449) * 10^6}{100} = 161 \frac{mg}{L}$$

A continuación, se muestra detalladamente los resultados obtenidos, en el proceso de monitoreo y determinación de datos en la cámara de aireación.

Semana	SST	SSV
1	117	62
	147	101
2	120	107
	130	112
3	179	116
	235	154
4	203	153
	214	161
<b>Media</b>	168,13	120,75
<b>Desviación estándar</b>	45,89	33,58
<b>Min</b>	122,24	87,17
<b>Max</b>	214,01	154,33

Así mismo como en los parámetros anteriores, se calculó el valor de la desviación estándar con el fin de determinar la dispersión de los experimentos en cada una de las semanas de operación. En este caso, el primer dato de la semana 1 de sólidos suspendidos volátiles, es decir 62 mg/L, se encuentra por fuera del rango mínimo de dispersión frente a la media aritmética (87,17 mg/L), lo que permite intuir que dicha réplica es un valor erróneo en la toma de datos frente a la réplica hecha en la misma semana que es 101 mg/L, por lo que, se descarta dicho valor de un posible análisis o tabulación. A partir de esto, y tal como se muestra a continuación, no incluir dicho dato, disminuye la dispersión entre los demás datos.

<b>Semana</b>	<b>SST</b>	<b>SSV</b>
1	147	101
2	120	107
	130	112
3	179	116
	235	154
4	203	153
	214	161
<b>Media</b>	175,43	129,14
<b>Desviación estándar</b>	44,26	25,66
<b>Min</b>	131,17	103,48
<b>Max</b>	219,69	154,80

ANEXO F  
CALCULOS PARA LA OBTENCION DE LOS PARAMETROS CINETICOS  
DE LODOS ACTIVADOS

Los cálculos para la obtención de las constantes cinéticas, como se mencionó en la metodología del capítulo 4, se realiza a partir de la tabulación de las ecuaciones 5 y 6, por lo cual los datos reportados en la tabla 14, se deducen a partir de la siguiente tabla. Sin embargo, y como se mencionó en el anexo E, se descarta la primera réplica de la semana 1, dado que el valor obtenido experimentalmente de sólidos suspendidos volátiles en el licor mixto (62 mg/L), y su tabulación respecto a los valores de DQO y tiempo de retención hidráulico, genera inconsistencias para el estudio y análisis del comportamiento de los microorganismos.

Semana	Tiempo de retención (θ)	DQOA (mg/L)	DQOE (mg/L)	XMLVSS
1	3	560	320	101
2	3	544	352	107
	3	512	256	112
3	5	528	176	116
	5	576	128	154
4	7	544	112	153
	7	560	112	161
<b>Media</b>	-	544	220	129,14
<b>Desviación estándar</b>	-	21,52	101,19	25,66

- Primera columna

$$\frac{1}{S}$$

$$\frac{1}{320} = 0,0031$$

$$\frac{1}{352} = 0,0028$$

$$\frac{1}{256} = 0,0039$$

$$\frac{1}{176} = 0,0057$$

$$\frac{1}{128} = 0,0078$$

$$\frac{1}{112} = 0,0089$$

$$\frac{1}{112} = 0,0089$$

- Para la segunda columna

$$\frac{\theta X}{(S_0 - S)}$$

$$\frac{3 * \frac{101mg}{L}}{(560 - 320) \frac{mg}{L}} = 1,2625$$

$$\frac{3 * \frac{107mg}{L}}{(544 - 352) \frac{mg}{L}} = 1,6719$$

$$\frac{3 * \frac{112mg}{L}}{(512 - 256) \frac{mg}{L}} = 1,3125$$

$$\frac{5 * \frac{116mg}{L}}{(528 - 176) \frac{mg}{L}} = 1,6477$$

$$\frac{5 * \frac{154mg}{L}}{(576 - 128) \frac{mg}{L}} = 1,7188$$

$$\frac{7 * \frac{153mg}{L}}{(544 - 112) \frac{mg}{L}} = 2,4792$$

$$\frac{7 * \frac{161mg}{L}}{(560 - 112) \frac{mg}{L}} = 2,5156$$

- Tercera columna

$$\frac{S_o - S}{X\theta}$$

$$\frac{(560 - 320) \frac{mg}{L}}{3 * \frac{101mg}{L}} = 0,7921$$

$$\frac{(544 - 352) \frac{mg}{L}}{3 * \frac{107mg}{L}} = 0,5981$$

$$\frac{(512 - 256) \frac{mg}{L}}{3 * \frac{112mg}{L}} = 0,7619$$

$$\frac{(528 - 176) \frac{mg}{L}}{5 * \frac{116mg}{L}} = 0,6069$$

$$\frac{(576 - 128) \frac{mg}{L}}{5 * \frac{154mg}{L}} = 0,5818$$

$$\frac{(544 - 112) \frac{mg}{L}}{7 * \frac{153mg}{L}} = 0,4034$$

$$\frac{(560 - 112) \frac{mg}{L}}{7 * \frac{161mg}{L}} = 0,3975$$

- Cuarta columna

$$\frac{1}{\theta}$$

$$\frac{1}{3} = 0,3333$$

$$\frac{1}{5} = 0,2000$$

$$\frac{1}{7} = 0,1429$$

Teniendo en cuenta lo anterior los resultados de la tabla 14 se detallan a continuación:

<b>Semana</b>	$\frac{1}{S}$	$\frac{\theta X}{(S_0 - S)}$	$\frac{S_0 - S}{X\theta}$	$\frac{1}{\theta}$
1	0,0031	1,2625	0,7921	0,3333
2	0,0028	1,6719	0,5981	0,3333
	0,0039	1,3125	0,7619	0,3333
3	0,0057	1,6477	0,6069	0,2000
	0,0078	1,7188	0,5818	0,2000
4	0,0089	2,4792	0,4034	0,1429
	0,0089	2,5156	0,3975	0,1429

ANEXO G.  
COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS INVOLUCRADOS EN EL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO

## COTIZACIONES PARA ELECTROBOMBA



BOMBAS

MOTORES

PLANTAS ELECTRICAS

EQUIPOS DE PRESIÓN

EQUIPOS CONTRA INCENDIO

PVTM-MC2974

Madrid Cundinamarca, Junio 5 de 2017

Señores  
CRISTIAN RAMOS  
Madrid-Cundinamarca

REF. COTIZACION MOTOBOMBA DE PRESION

Respetados Señores: En atención a su amable solicitud de cotización y con los datos suministrados por ustedes, tenemos el agrado de cotizarles los equipos de su interés.

### 1.0) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MOTOBOMBA CENTRIFUGA HYFLO

MARCA	I.H.M
MODELO	15H-2TW
VERSION	MONOBLOCK
FLUIDO	AGUA
TIPO	CENTRIFUGA HY-FLO 1 ETAPA
SUCCION	1.1/2" NPT
DESCARGA	1.1/2" NPT
MATERIAL	HIERRO GRIS CLASE 30
ROTOR	ACERO INOX 304
SELLO MECANICO	VITON CARBURO DE SILICIO
ALTURA	VER CURVA
CAUDAL	VER CURVA
MOTOR	WEG TRIFASICO
POTENCIA	2 HP
VELOCIDAD	3500 RPM
TENSION	220

VALOR MOTOBOMBAS CENTRIFUGA HY-FLO (U) \$943.000.00 + IVA

Nota: La presente cotizacion incluye el suministro del equipo descrito, no incluye instalacion..

"El o los equipos objeto de esta cotización satisfacen las especificaciones técnicas respecto a Caudal y ADT suministradas a Ignacio Gomez IHM SAS por el requirente. Ignacio Gomez IHM SAS garantiza el correcto funcionamiento de ellos si se siguen las condiciones de instalación, operación, mantenimiento y servicio determinadas en los manuales de usuario de los mismos y de igual manera los garantiza contra defectos de materiales y mano de obra incorporada al producto."



## COTIZACION DE SOPLADOR PARA SUMINISTRO DE OXIGENO



PARA: SR. CRISTIAN RAMOS  
DE: LUISA FERNANDA CASAS DÍAZ  
REFERENCIA: COTIZACIÓN SOPLADOR  
NÚMERO: 664.17  
FECHA: 05 de Junio de 2017

Con la presente cotizamos el suministro de un conjunto soplador del tipo regenerativo, marca **EKKOAIR**, modelo EKZ 130-58 cuyas características técnicas principales son:

- Motor eléctrico de 1.5 kw a 3500 rpm, 208-220/440-460 voltios, 3 fases, 60Hz
- Máximo nivel de ruido: 60 dB(A)
- Máximo flujo de aire a cero presión: 130 m<sup>3</sup>/hr (77 cfm)
- Máximo diferencial de presión a nivel del mar: 400 mbarg (5.8 psig)
- Número de etapas: dos.
- Número de impulsores: dos.

### ACCESORIOS OPCIONALES PARA LOS CONJUNTOS TIPO REGENERATIVO

1. Filtro de aire de 2" de diámetro nominal.
2. Válvula de alivio tipo resorte.
3. Indicador visual de filtro de aire obstruido.
4. Manómetro en la descarga con escala de 0-15 psig y llave de paso.
5. Vacuostato con interruptor incorporado para desactivar la bobina del contactor del motor eléctrico en caso de presentarse una excesiva restricción al flujo en el filtro de aire del soplador.
6. Válvula cheque de 1-1/2" de diámetro nominal.

Adjuntamos ficha técnica del soplador ofrecido.

### PRECIOS Y CONDICIONES COMERCIALES

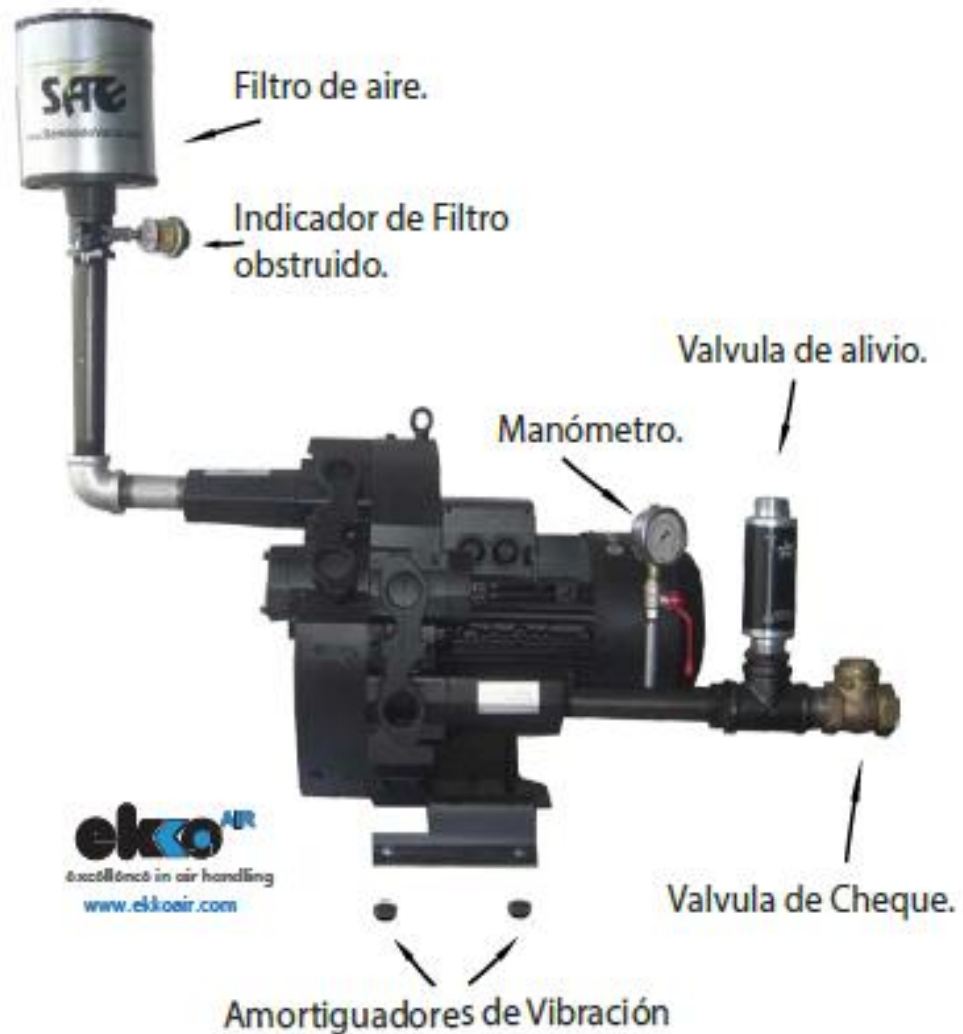
Valor unitario del soplador EKZ 130-58:	\$ 2'882.000
Menos el 10% de descuento	\$ 288.200
Valor neto unitario antes de IVA	\$ 2'593.800

### ACCESORIOS OPCIONALES NO INCLUIDOS EN EL ANTERIOR PRECIO

1. Filtro de aire	\$ 256.000
2. Válvula de alivio	\$ 628.000

**SOLUCIONES AVANZADAS DE ENERGIA – SAE Ltda.**  
Calle 102 A - # 70 B - 13 Barrio Santa Rosa Norte - Bogotá, Colombia.  
PBX (1) 624 1500 - FAX (1) 624 7427 - Cel. 315 341 0200 - E-MAIL [info@saeltda.com](mailto:info@saeltda.com)

## Conjunto Soplador Tipo Regenerativo



**Soluciones Avanzadas de Energía - SAE LTDA.**  
Calle 102A No. 70B -13 Bogotá, Colombia PBX (571) 624 1500  
[www.BombadeVacio.com](http://www.BombadeVacio.com) - E-mail: [info@saelda.com](mailto:info@saelda.com)



# COTIZACION PARA TANQUES EN PFRV Y FILTRO A PRESION



## 1. CONDICIONES COMERCIALES

### 1.1. Precio de venta

Descripción	Cantidad	Precio
Diseño, fabricación, suministro de planta de tratamiento de agua residual:		
✓ Reactor de lodos activados en PRFV	2	\$ 25.600.900
✓ Tanque clarificador secundario en PRFV	1	\$ 18.900.000
✓ Filtro a presión de 16"	1	\$ 2.630.800
✓ Instalación y puesta a punto	1	\$ 13.110.900
<b>Incluye:</b>		
✓ Manual de operación y mantenimiento	<b>TOTAL (IVA incluido sobre la utilidad)</b>	<b>\$ 60.242.600</b>
✓ Una visita Postventa		
✓ Análisis de agua del vertimiento tratado		

#### Notas:

- Las grasas deben ser removidas en el punto de generación.
- La responsabilidad en cuanto al cumplimiento de norma RETIE y a lo que hace referencia nuestras observaciones en las cotizaciones consiste en que "Los elementos eléctricos instalados individualmente cumplen con los lineamientos de la norma RETIE, y que la instalación de los mismos se hace con los mismos lineamientos de la norma", por lo tanto si el cliente lleva un certificador RETIE externo a EDUARDOÑO, para que valide la instalación, EDUARDOÑO está en la completa responsabilidad de realizar las actividades y correcciones en la instalación que determinen el cumplimiento de la norma. Lo anterior no obliga a EDUARDOÑO a la entrega de: i) Memorias de cálculo RETIE, ii) Planos de instalación eléctrica diferentes al tablero, y iii) Declaración de cumplimiento, ya que en ninguna parte de la cotización ni el contrato están estipulados dichos documentos como entregables. Si el cliente requiere de dichos documentos para la entrega a un tercero de su proyecto debe realizar la solicitud desde el inicio de la negociación para que el valor de estos entregables sea incluido en la presente propuesta.
- El presente diseño se justifica en la caracterización de las aguas residuales domésticas de concentración media. Condiciones cambiantes en el afluente al sistema, deben ser asumidas por el contratante.
- En la instalación del proyecto no está incluido: personal SYSO.
- Los permisos de ingreso de personal y de trabajo en campo deben ser tramitados, por el Cliente, antes del arribo del personal a instalaciones del Cliente para inicio de labores.

### 1.3 Forma de pago

50% para iniciar fabricación de los equipos, 30% al aviso del despacho, 10% a la instalación de los equipos y 10% a la puesta en marcha de la PTARD

## COTIZACION PARA EL MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO



Hanna Instruments S.A.S.  
NIT: 900352772-2  
Regimen Común - ICA Actividad Económica 204 - 11.04\*1000 -  
CIU 4859 Tarifa de Retención Impuesto CREE 0,4%  
Autoretenedores de Renta. Resolución 003346 del 24 de abril de 2015

### COTIZACION N° 79868

Fecha : 05/06/2017 - Vigencia : 20/06/2017

Señores: CHRISTIAN CAMILO RAMOS VELANDIA

Atención: Sr. CHRISTIAN RAMOS

Fono: 313 483 65 43

Fax:

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

N°	Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Total
1	HI 98193	Medidor Impermeable de Oxígeno Disuelto y DBO <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$3.083.990	\$3.083.990
2	HI 9147-04	Medidor de oxígeno disuelto Oxy-Check <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$2.230.990	\$2.230.990
3	201.01	Despacho Bogotá	C/U	1	\$20.000	\$20.000

#### CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago Contado

Lugar de Entrega En vuestra oficina

Validez Oferta 15 días, excepto para oferta de promociones especiales, en cuyo caso la validez estará determinada por el periodo de duración de la promoción

Neto \$5.334.980

IVA (19%) \$1.013.648

Total \$6.348.628

Laura Triana

HANNA Instruments

email: laura.triana@hannacolombia.com

cel: (57 1) 518 9995 ext. 127

Carrera 98 No 25G-10 Bodega 9 - Bogotá Colombia  
email:ventas@hannacolombia.com  
Teléfonos: (57 1) 743-0243, (57 1) 415-4551  
Fax: (57 1) 704-4087

1

## Hanna Instruments Colombia

Hanna Instruments Ltda.

### Medidor portátil Impermeable de Oxígeno Disuelto y DBO



El HI98193 es un medidor robusto, portable de Oxígeno Disuelto (OD) diseñado para aplicaciones demandantes. Este medidor profesional, a prueba de agua cumple con estándar IP67, mediciones de OD, Presión barométrica, DBO y Temperatura. El HI98193 es suministrado con todos los accesorios para realizar mediciones de OD y empaçado en una maleta portable resistente.

Rango Oxígeno Disuelto	0.00 a 50.00 mg/L (ppm); 0.0 a 600.0 % saturación
Rango Presión Barométrica	450 a 850 mmHg
Rango Temperatura	-20.0 a 120.0°C (-4.0 a 248.0°F)
Resolución Oxígeno Disuelto	0.01mg/L(ppm);0.1% saturación
Resolución Presión Atmosférica	1 mm Hg
Resolución Temperatura	±0.2°C/±0.4°F (excluyendo error de sonda)
Precisión (@20°C/68°F) Oxígeno Disuelto	±1.5% de lectura ±1dígito
Precisión (@20°C/68°F) Presión Barométrica	± 3 mmHg entre ±15% del punto de calibración
Precisión (@20°C/68°F) Temperatura	±0.2°C/±0.4°F (excluyendo error de sonda)
Modos de Medición	directo DO; BOD (demanda de oxígeno bioquímica); TCO (tasa de consumo de O); TECO (tasa especif. de consumo de O )
Calibración Oxígeno Disuelto	Uno o dos puntos automáticos a 100 % (8.26 mg/L) y 0 % (0 mg/L).
Calibración Presión Barométrica	un punto en cualquier rango de valor de presión
Calibración Temperatura	uno o dos puntos en cualquier rango de valor de temperatura
Compensación de Barométrica	automática de 450 a 850 mmHg
Compensación de Salinidad	automática de 0 a 70 g/L
Compensación de Temperatura	automática de 0.0 a 50.0 °C (32.0 a 122.0 °F)
Sonda	HI 764073 Sonda polarográfica DO con manga protectora, sensor de temperatura interno, conector DIN y cable de 4m 1.3 (incluido)
Ingreso	Ingreso por demanda, 400 muestras
Conectividad PC	opto-aislada USB (con software HI 92000 )
Batería Tipo / Vida	1.2V (4) baterías AA recargables/aproximadamente 200 hrs sin retroiluminacion (50 horas de uso continuo con retroiluminacion)
Auto-off	seleccionada por el usuario: 5, 10, 30, 60 min o puede ser deshabilitada
Ambiente	0 ? 50 °C (32 ? 122 °F) HR max 100%
Dimensiones	185 x 93 x 35.2 mm (7.3 x 3.6 x 1.4?)
Peso	400 g (14.2 oz.)

- HI98193 es suministrado con sonda de OD HI764073, tapa de membrana preformada de PTFE (2), HI7041S solución electrolítica (30 mL), Solución Zero Oxígeno HI7040 , Vasos precipitados de 100 mL (2), software HI92000 , HI920015 Cable micro USB, Baterías 1.5V AA (4), manual de instrucciones, Guía de uso rápido, Certificado de calidad del instrumento y Maleta de transporte HI760193.

## SOLUCIONES

- HI 7040L solución de cero oxígeno, 500 mL
- HI 7041S solución de electrólito, 30 mL
- HI 7041M Solución de relleno de electrólito (230 mL)
- HI 7041L Solución de relleno de electrólito (500 mL)



## COTIZACIONES PARA VALVULAS DE BOLA Y MARIPOSA

### Lista de precios



REF.	VÁLVULA CHEQUE EN PVC CON DOS UNIVERSALES-USO VERTICAL	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3273	Vertical ½" roscar	\$ 49.956	64
3274	Vertical ¾" roscar	\$ 58.588	48
3275	Vertical 1" roscar	\$ 66.521	30
3276	Vertical 1 ¼" roscar	\$ 75.647	15
3277	Vertical 1 ½" roscar	\$ 98.559	12
3278	Vertical 2" roscar	\$ 141.738	6
3279	Vertical 3" roscar	\$ 395.615	4



REF.	VÁLVULA MARIPOSA EN PVC	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3268	Mariposa 3"	\$ 362.907	4
3269	Mariposa 4"	\$ 402.032	4
3271	Mariposa 6"	\$ 585.699	2



REF.	VÁLVULA PURGA DE AIRE Y PIE EN PVC	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3287	Purga de aire ½"	\$ 27.005	40
3288	Purga de aire ¾"	\$ 31.201	60
3289	Purga de aire 1"	\$ 44.990	60
3298	Purga de aire 1 ¼"	\$ 91.177	24
3290	Purga de aire 1 ½"	\$ 95.271	24
3291	Purga de aire 2"	\$ 102.733	12
3292	Purga de aire 3"	\$ 306.480	6



REF.	UNIÓN DE REPARACIÓN DRESSER	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3223	Dresser ½"	\$ 8.209	120
3224	Dresser ¾"	\$ 10.126	120
3225	Dresser 1"	\$ 13.166	72
3226	Dresser 1 ½"	\$ 46.937	36
3227	Dresser 2"	\$ 69.836	24

# Lista de precios



REF.	VÁLVULA DE BOLA EN PVC MONO-RADIAL CON UNA UNIVERSAL SOLDAR	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3510	Mono-radial 1/2" soldar	\$ 18.845	60
3511	Mono-radial 3/4" soldar	\$ 29.890	60
3512	Mono-radial 1" soldar	\$ 34.977	36
3513	Mono-radial 1 1/4" soldar	\$ 44.319	24
3514	Mono-radial 1 1/2" soldar	\$ 67.070	14
3515	Mono-radial 2" soldar	\$ 101.538	8
3516	Mono-radial 2 1/2" soldar	\$ 176.004	8
3517	Mono-radial 3" soldar	\$ 271.663	8
3518	Mono-radial 4" soldar	\$ 449.939	6




REF.	VÁLVULA DE BOLA EN PVC MONO-RADIAL CON UNA UNIVERSAL ROSCAR	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3501	Mono-radial 1/2" roscar	\$ 23.946	60
3502	Mono-radial 3/4" roscar	\$ 31.193	60
3503	Mono-radial 1" roscar	\$ 41.595	36
3504	Mono-radial 1 1/4" roscar	\$ 47.635	24
3505	Mono-radial 1 1/2" roscar	\$ 69.956	14
3506	Mono-radial 2" roscar	\$ 105.658	8
3507	Mono-radial 2 1/2" roscar	\$ 215.746	8
3508	Mono-radial 3" roscar	\$ 289.414	8



REF.	VÁLVULA CHEQUE EN PVC CON DOS UNIVERSALES-USO HORIZONTAL	PRECIO DE LISTA	CONTENIDO POR CAJA
3280	Horizontal 1/2" roscar	\$ 48.897	64
3281	Horizontal 3/4" roscar	\$ 58.574	48
3282	Horizontal 1" roscar	\$ 60.278	30
3283	Horizontal 1 1/4" roscar	\$ 75.647	15
3284	Horizontal 1 1/2" roscar	\$ 98.559	12
3285	Horizontal 2" roscar	\$ 141.738	6
3286	Horizontal 3" roscar	\$ 395.615	4

Lista de precios vigente enero 02 de 2017. Precios no incluyen IVA. Entregas en Bogotá. Sujeto a cambios sin previo aviso. Revisión pendiente.



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Agosto - 2017


## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Yo **CRISTIAN CAMILO RAMOS VELANDIA** en calidad de titular de la obra **EVALUACION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS PARA LA REMOCIÓN DE CARGA ORGANICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS GENERADAS EN EL COLEGIO SAN VIATOR**, elaborada en el año **2016**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	<b>FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA</b>	<b>Código:</b>
	<b>PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>Versión 0</b>
	<b>Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres</b>	<b>Agosto - 2017</b>

	<b>Atribución- no comercial- sin derivar:</b> permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial:</b> permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial – compartir igual:</b> permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación		X

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 23 días del mes de Agosto del año 2017.

**EL AUTOR:**

**Autor 1**

<b>No m b es</b>	<b>Apellidos</b>
CRISTIAN CAMILO	RAMOS VELANDIA
<b>Documento de identificación No</b> 1.022.401.467	<b>Firma</b> Cristian Camilo Ramos.