

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LABORATORIOS  
AGROINDUSTRIALES MEDIANTE REACTORES AEROBIOS ALIMENTADOS  
CON FLUJO INTERMITENTE**

**NIYIRETH GAVIRIA ARGOTE  
DIEGO FERNANDO GONZALEZ B**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2014**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LABORATORIOS  
AGROINDUSTRIALES MEDIANTE REACTORES AEROBIOS ALIMENTADOS  
CON FLUJO INTERMITENTE**

**NIYIRETH GAVIRIA ARGOTE**

**DIEGO FERNANDO GONZALEZ B**

**Informe final de trabajo de grado, modalidad trabajo de investigación,  
presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Director**

**MSc. John Calderón Ramírez  
Profesor Facultad de Ingeniería Civil**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2014**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Director: \_\_\_\_\_  
MSc. John Calderón Ramírez

Jurado \_\_\_\_\_  
PhD. Juan Carlos Casas Zapata

Jurado \_\_\_\_\_  
MSc. Mauricio Aguirre

Popayán, 09 de Abril del 2014

## DEDICATORIA

A Dios por haberme concedido el don de la vida, por guiar mi camino, protegerme y fortalecerme en cada momento.

A mis padres Felipe Benicio y Fénix por su amor, apoyo y comprensión, por haberse esforzado a cada instante para concluir este proyecto y velar por mi bienestar.

A todas y cada una de las personas que fueron mi apoyo, a cada una de las personas que creyeron en mis capacidades y me sostuvieron con su ánimo, en el peregrinar de estos años, a los que juntos pasamos horas entre libros y trabajos.

A la memoria del ingeniero Guillermo Chaux (Q.E.P.D), quien me diera la oportunidad de realizar este trabajo de grado.

Niyireth Gaviria Argote

A Dios por iluminar el camino y la senda de mi vida, por ser motivo de fe y buen comportamiento en cada una de las situaciones de mi vida.

A mi familia que con sus palabras de aliento hacen posible cada uno de los triunfos de mi vida, y por su apoyo incondicional.

A mis compañeros(as) que compartieron conmigo en esta etapa de mi formación profesional.

A todas y cada una de las personas que creyeron en mis cualidades y capacidades y pusieron en mi la confianza suficiente para que fuera posible culminar esta etapa de mi vida de forma satisfactoria.

A mis padres José Jair (Q.E.P.D) y Rosa Anita, por su apoyo, amor, y comprensión y sobre todo por haber dedicado gran parte de sus vidas a luchar por una buena formación para sus hijos, y ser para mi ejemplo de lucha y sacrificio.

A Katterin y su familia que se convirtieron de alguna manera en mi segundo hogar y me apoyaron en quizá uno de los momentos más difíciles de mi vida.

Diego Fernando González

Benavides

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Guillermo Chaux Figueroa Q.E.P.D como director inicial, y al ingeniero John Calderón Ramírez como director final del presente trabajo, por sus valiosos aportes, orientaciones y asesorías, las cuales permitieron cumplir con cada uno de los objetivos propuestos.

A la Ingeniera Lucila Certuche por el espacio ofrecido para realizar el presente trabajo y por permitirnos disponer de las instalaciones y equipos necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades propuestas.

A los Ingenieros Luis Jorge González y Javier Ernesto Fernández por su asesoría y valiosa colaboración.

A amigos, compañeros y demás personas que contribuyeron para llevar a cabo este logro.

A todos ustedes, expresamos infinitos sentimientos de gratitud por haber sido parte de este proceso y contribuir en este gran logro.

**Niyireth Gaviria y Diego González**

## INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

<b>TÍTULO</b>	Tratamiento De Aguas Residuales De Laboratorios Agroindustriales Mediante Reactores Aerobios Alimentados Con Flujo Intermitente
<b>ESTUDIANTE</b>	Diego Fernando González B. Niyireth Gaviria Argote
<b>DIRECTOR UNIVERSIDAD DEL CAUCA</b>	MSc. John Calderón Ramírez
<b>ASESOR</b>	MSc. Guillermo Chaux Figueroa
<b>LUGAR DE EJECUCIÓN</b>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.
<b>DURACIÓN DEL PROYECTO</b>	Ocho (8) meses
<b>FINALIZACIÓN</b>	Diciembre de 2013
<b>TIPO DE PROYECTO</b>	Trabajo de investigación
<b>FINANCIAMIENTO</b>	Universidad del Cauca

## CONTENIDO

	Pàg
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. MARCO TEÓRICO	17
4.1 ANTECEDENTES	18
4.2. Efluentes de producción de lácteos frutas y cárnicos	18
4.2.1. Efluentes lácteos	19
4.2.2. Efluentes provenientes de la industria de cárnicos	20
4.2.3. Efluentes provenientes de la industria de frutas y hortalizas	20
4.3. TRAMPA DE GRASAS	20
4.4. FILTRO PERCOLADOR	21
4.5 TANQUE HOMOGENEIZADOR	21
4.6. LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA	22
4.7. HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	22
4.8. LAGUNA DE MADURACIÓN.	23
5. METODOLOGÍA	24
5.1 UBICACIÓN	24

5.2 DETERMINACION DE CAUDALES DE LOS LABORATORIOS DE PROCESOS APLICADOS	25
5.3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DOMÉSTICAS Y AGROINDUSTRIALES	25
5.3.1. Descripción del muestreo	26
5.3.1.1 Frecuencia	26
5.3.1.2 Duración	26
5.3.1.3 Puntos de muestreo	26
5.3.2. Muestra	28
5.3.3. Analisis de muestras	28
5.3.3.1 Temperatura	28
5.3.3.2 pH	28
5.3.3.3 Sólidos Totales Totales	28
5.3.3.4 Sólidos Suspendedos Totales	28
5.3.3.5 Sólidos Disueltos Totales	28
5.3.3.6 Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	28
5.3.3.6.1 Estandarización del FAS	28
5.3.3.7 Preparación de las muestras	30
5.3.3.8 Demanda Bioquimica de Oxigeno	27
5.3.3.9 Aforo de caudal	31
5.4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO AGROINDUSTRIAL	31
5.4.1. Puntos de muestreo	31
5.4.2. Descripción del muestreo	33
5.4.3. Frecuencia de muestreo	33
5.4.4. Aforo de caudal	33
5.4.5. Parámetros evaluados	33
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	34



6.1.1. Aforo de caudales	34
6.1.1.1. Valores promedio	34
6.1.1.2. Caudal para cuando se abren 2 grifos de gua	35
6.1.1.3. Caudal par cuando se abren los 3 grifos de aguaz	35
6.1.1.4. Caudal máximo probable	35
6.1.2. Voluemn de agua generado en los laboratorios de procesos aplicados	36
6.1.2.2 Laboratorio de Lácteos	36
6.1.2.3 Laboratorio de vegetales	38
6.1.2.3 Laboratorio de cárnicos	38
6.2 AFOROS DE CAUDAL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	41
6.3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN	43
6.3.1. Sólidos Totales	43
6.3.2. Sólidos Suspendidos Totales	44
6.3.3 Sólidos Disueltos Totales	45
6.3.4. pH	46
6.3.5. Temperatura	47
6.3.6. DQO	48
6.3.7. DBO5	49
6.4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DOMÉSTICAS Y AGROINDUSTRIALES.	50
6.4.1. Sólidos Totales Totales	50
6.4.2. Sólidos Suspendidos Totales	51
6.4.3 Sólidos Disueltos Totales	52
6.4.4. pH	52
6.4.5. Temperatura	54
6.4.6. DQO	55
6.4.7. DBO5	56

6.5. CARGAS CONTAMINANTES Y PORCENTAJES DE REMOCIÓN	56
6.5.1. Sistema tanque séptico - humedal - laguna de maduración	54
6.5.1.1. Remoción por unidades de tratamiento	58
6.5.2. Sistema de tratamiento industrial	60
6.6. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO TEÓRICO Y CAPACIDAD	61
6.6.1. Tanque séptico	61
6.6.1.1 Tiempo de retención hidraulico teórico	61
6.6.1.2 Capacidad del tanque séptico	62
6.6.2. Humedal de flujo supsuperficial	65
6.6.2.1 Tiempo de retención hidraulico teórico	65
6.6.2.2 Capacidad del tanque séptico	66
7. CONCLUSIONES	68
8. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
Anexo 1. Datos Obtenidos En El Laboratorio	75
Anexo 2. Datos Climatológicos	109
Anexo 3. Registro Fotografico	111

## LISTADO DE TABLAS

	Pàg
Tabla 1. jornadas de observación	25
Tabla 2. Fechas de muestreo	26
Tabla 3. Puntos de muestreo sistema de tratamiento de ARD	26
Tabla 4. Volumen de agua residual empleado en DBO5	30
Tabla 5. Puntos de muestreo sistema de tratamiento agroindustrial	31
Tabla 6. Fechas de muestreo de sistema de agua residual agroindustrial	33
Tabla 7. Aforo caudal LPA	34
Tabla 8. Valor promedio de caudal	35
Tabla 9. Tiempo de duración de los grifos abiertos, laboratorio de lácteos	36
Tabla 10. Tiempo de duración de los grifos abiertos, laboratorio de vegetales	37
Tabla 11. Tiempo y volumen de agua empleada en desinfección	38
Tabla 12. Tiempo de duración grifos abiertos, laboratorio de cárnicos	38
Tabla 13. Tiempo y volumen de agua empleada en desinfección	39
Tabla 14. Sustancias desinfectantes empleadas en los LPA	40
Tabla 15. Otros desinfectantes empleados en los LPA	40
Tabla 16. Estadísticas descriptivas de Caudal	41
Tabla 17. Estadísticas descriptivas de Sólidos Totales	43
Tabla 18. Estadísticas descriptivas de Sólidos Suspendidos Totales	44
Tabla 19. Estadísticas descriptivas de Sólidos Disueltos Totales	45
Tabla 20. Estadísticas descriptivas de pH	46
Tabla 21. Estadísticas descriptivas de Temperatura	47
Tabla 22. Estadísticas descriptivas de DQO	48
Tabla 23. Estadísticas descriptivas de DBO5.	49
Tabla 24. Estadísticas descriptivas de Sólidos Totales	50
Tabla 25. Estadísticas descriptivas de Sólidos Suspendidos Totales	51
Tabla 26. Estadísticas descriptivas de Sólidos Disueltos Totales	52

Tabla 27. Estadísticas descriptivas de pH	52
Tabla 28. Estadísticas descriptivas de Temperatura	59
Tabla 29. Estadísticas descriptivas de DQO	55
Tabla 30. Estadísticas descriptivas de DBO5	55
Tabla 31. Cargas contaminantes	57
Tabla 32. Porcentajes de remoción sistema tanque séptico - humedal – laguna	57
Tabla 33. Cargas contaminantes tanque séptico - humedal – laguna	59
Tabla 34. Porcentajes de remoción por unidades	59
Tabla 35. Cargas contaminantes y porcentajes de remoción sistema industrial	61
Tabla 36. Volumen útil requerido en el sedimentador para diversos caudales y retiro anual de lodos	64
Tabla 37. Volumen útil requerido en el sedimentador para diversos caudales y retiro de lodos cada 2 años	65

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación de la Facultad De Ciencias Agropecuarias de la Universidad Del Cauca.	24
Figura 2. Puntos de muestreo del sistema tanque séptico – humedal - laguna	27
Figura 3. Puntos de muestreo y sentido del flujo sistema de tratamiento agroindustrial	32

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las fuentes naturales de agua están siendo contaminadas por los vertimientos incontrolados que en su mayoría proceden del sector industrial. Como la industria láctea, cárnica y productora de aceites vegetales siendo las que tienen mayor influencia por su alto consumo de agua durante el proceso de producción y generan un excesivo volumen de aguas residuales (Ávalos *et al.*, 2007)

En la industria alimentaria, el procesamiento de frutas que genera un impacto en el ambiente debido a él vertimiento de residuos tanto sólidos como líquidos (Restrepo, 2006); las industrias de cárnicos están constituidas por los mataderos y las industrias en las cuales se transforma la carne con el objetivo de elaborar productos alimenticios (carnes frescas y congeladas, grasas, curados, jamón, salchichas, entre otros) y la materia prima fundamental es la carne; los efluentes de esta industria contienen proteínas, compuestos lignocelulósicos y grasas (solubles y suspendidas).

La Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca cuenta con un sistema que trata las aguas residuales originadas en los laboratorios de procesos aplicados y otro sistema al cual llega el efluente de la planta industrial y el agua residual doméstica proveniente en mayor parte de las baterías sanitarias.

El presente estudio evaluó el comportamiento de los sistemas de tratamiento existentes, con el objetivo de generar recomendaciones que permiten mejorar el uso y la operación de cada una de las unidades y del sistema en general, de manera indirecta optimizar los procesos llevados a cabo en el tratamiento de tal forma que se minimicen los impactos en el cuerpo receptor del efluente.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El crecimiento acelerado y el desarrollo son directamente proporcionales al impacto ambiental, especialmente sobre los cuerpos de agua, debido al manejo inadecuado de las aguas residuales de origen industrial, agrícola y urbano, además de las actividades mineras legales e ilegales, artesanales e industriales. Es necesario promover el desarrollo de tecnologías que ayuden a mejorar la calidad de los efluentes y que al mismo tiempo sean adecuadas al contexto socioeconómico del país (Carrasquero, 2002; citado por Arenas *et al.*, 2011).

Los ríos y lagos están sujetos a muchas fuentes de contaminación que pueden hacer que el agua no pueda ser empleada para beber, nadar o pescar. Uno de los problemas más comunes es la acumulación de nutrientes ocasionada por el flujo creciente de fosfato y nitrato provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, fertilizantes, detergentes y desperdicios animales, así como la erosión del suelo. La actividad humana ha liberado cantidades excesivas de estos nutrientes a los ecosistemas acuáticos, trayendo como resultado un incremento desmesurado de la población vegetal y con ello la aceleración del proceso natural de eutrofización (Rodríguez, 2008).

Las grasas y aceites que se encuentran en las aguas residuales de la industria alimentaria, provienen generalmente de la carne, gérmenes de cereales, semillas de nueces, y de algunas frutas; se encuentran en compuestos orgánicos lo que dificulta la descomposición por acción de bacterias, las grasas así como otros compuestos afectan tanto las fuentes receptoras, los procesos de tratamiento y las instalaciones si no son eliminadas en el tratamiento preliminar (Metcalf & Eddy, 1996).

La planta de tratamiento de agua residual industrial de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de La Universidad del Cauca, ha sufrido últimamente una serie de modificaciones en cuanto a su operación, que al parecer han alterado notablemente los procesos físicos y biológicos que allí se presentan. Es importante recalcar que a lo anterior se le suman problemas del ámbito operativo que han disminuido los periodos de operación de la planta, generando lapsos de tiempo sin operación demasiado largos, llevando a condiciones inadecuadas para los diferentes procesos, además, se evidenció que en algunas unidades que constituyen la planta de tratamiento de agua residual agroindustrial no es posible realizar un mantenimiento adecuado ya que se presentan diferentes situaciones que se describirán más adelante y que dificultan esta labor.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el avance de la tecnología, ha permitido el surgimiento de nuevas industrias, que a pesar de que conllevan al desarrollo económico en la localidad donde se asientan, el impacto que producen es alto, contaminando cada día más el ambiente, razón por la cual se han ido generando teorías como el desarrollo sostenible, por lo cual es importante realizar proyectos de prevención, reducción y mitigación de la contaminación provocada por las industrias generadoras de gran cantidad de residuos (líquidos y sólidos) durante los procesos de producción y transformación de las materias primas, muchos de estos desechos son vertidos directamente sobre las fuentes de agua que se utilizan para abastecimiento público, provocando el riesgo de contraer enfermedades de quienes las consuman, así como también se puede presentar la pérdida de la fuente hídrica por eutrofización en el caso donde se presenta exceso de nutrientes, además del consumo de grandes volúmenes para la producción (Huerga, 2005).

Este estudio se hizo necesario debido a la ausencia de una evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales desde el año 2002, época en la cual se hacía recirculación desde la laguna de maduración hasta la entrada de la planta, pero se dejó de hacer porque no es conveniente desde el punto de vista técnico, debido al aumento en los costos de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (P.T.A.R), puesto que las condiciones topográficas del terreno no permiten emplear flujo por gravedad entre la mayoría de las unidades, además al recircular el líquido de la laguna de maduración se aportan al sistema compuestos recalcitrantes de difícil biodegradabilidad, y algas que interfieren en el funcionamiento del humedal de flujo subsuperficial.

Dado que desde febrero de 2013 se eliminó la recirculación, el sistema quedo funcionando como reactores batch, ante tal situación se hizo indispensable evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual bajo las condiciones actuales de operación, y de esta manera poder determinar la importancia de los cambios que se le han hecho y las posibles mejoras en pro de su buen funcionamiento.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir en el mejoramiento de la Planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 3.2.1 Cuantificar y discriminar de forma aproximada los caudales de aguas residuales que se generan por las diferentes prácticas de laboratorio llevadas a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.
- 3.2.2 Evaluar la capacidad y el desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales con respecto al sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, con base en la remoción de  $DBO_5$ , DQO y SST.
- 3.2.3 Generar una serie de recomendaciones que permitan mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales y domésticas.

## **4. MARCO TEÓRICO**

En la literatura se encuentran diversos trabajos que abordan el tema de contaminación de aguas con efluentes agroindustriales y domésticos, a continuación se mencionan algunos trabajos que tienen cierta relación con respecto a este tema, y algunos conceptos fundamentales.

### **4.1 ANTECEDENTES**

Arango y Garcés (2007) estudiaron el tratamiento del agua residual de la industria láctea aplicando el método de coagulación, obteniendo como resultado remoción del 94% de DQO, y 99% de grasas y aceites a pH ácido con tiempo de tratamiento de 15 minutos.

Zamora (2011) caracterizó los parámetros de calidad del agua desalojada por la empresa de productos lácteos Marco's con el fin de disminuir su contaminación en el Cantón Píllaro, Provincia de Tungurahua. Durante el estudio comparó el agua que ingresa para los procesos y la desalojada después de la producción, y se encontró que el agua residual estaba produciendo impactos negativos al ambiente y que no se cumplía con las normas de vertimientos; la  $DBO_5$  de salida era de 12500 mg/L, razón por la cual se implementó un sistema de tratamiento para el agua residual producida.

Arango y Sánchez (2009) reportan el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. Se evaluó el rendimiento y capacidad de un reactor UASB, obteniendo resultados de reducción de 98% de DQO y 97,2% de STV con una velocidad de carga orgánica en el reactor de 9,6 gDQO/L\*d.

### **4.2. EFLUENTES DE PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS FRUTAS Y CÁRNICOS.**

Los tratamientos de las aguas residuales provenientes de la industria alimentaria, son necesarios, ya que pueden presentarse valores de  $DBO_5$  entre 100 y 1000 mg/L, en cuanto a los sólidos suspendidos en algunos casos puede que no se presenten o pueden llegar a valores de 12000 mg/L, además algunas de las industrias de alimentos producen aguas con excesos o defectos de nutrientes y adicionalmente presentar pH ácidos (pH=3,5) o básicos (pH=11). De igual forma los volúmenes de vertidos varían dependiendo del tipo de industria, en algunas la producción de vertidos es baja; sin embargo, en otras se pueden alcanzar miles de  $m^3/d$  (Fernández, 2004).

#### 4.2.1. Efluentes lácteos

En la industria láctea la principal afectación que se da al ambiente es debido al alto consumo de agua durante el proceso de producción y los altos contenidos de materia orgánica en las aguas residuales generadas; el consumo de agua así como la generación de vertimientos de la industria láctea depende de la actividad o producto que se genere, se pueden tener valores desde 1 L hasta 9 L de agua residual por litro de leche (Pacurrucu, 2011).

Las aguas residuales derivadas de la industria láctea se pueden clasificar de acuerdo al origen en aguas de limpieza y proceso y en aguas de refrigeración; las primeras se generan cuando se realiza limpieza de superficies, tuberías, tanques, equipos, pérdida de productos, lacto suero, salmuera, entre otros. Las aguas de limpieza se caracterizan por tener un pH elevado, alto contenido orgánico, aceites, grasas y sólidos. Su volumen es aproximadamente de 0,8 a 1,5 L de agua residual por litro de leche procesada; por otra parte las aguas de origen de refrigeración tienen variaciones en la temperatura y conductividad y su volumen esta de 2 a 4.5 litros de agua residual por litro de leche procesada (Pacurrucu, 2011).

Se ha encontrado que los efluentes de las industrias lácteas en general poseen las siguientes características según (Pacurrucu, 2011):

- a. Alto contenido de materia orgánica: por la presencia de componentes de la leche, la DQO se encuentra entre 1000-6000 mg/L.
- b. Presencia de aceites y grasas: generada por la grasa de la leche y otros productos lácteos.
- c. Alto contenido de Nitrógeno y Fósforo: generado por los productos de limpieza y desinfección. Se encuentran valores de 56 mg/L de nitrógeno total y 33 mg/L de fósforo (Fernández, 2004).
- d. Variaciones del pH, debido al vertido de soluciones ácidas y básicas, teniendo pH aproximados entre 2-11 unidades de pH.
- e. Conductividad eléctrica elevada provocada por el vertido de cloruro sódico durante el proceso de producción de queso.
- f. Variaciones de temperatura considerando las aguas refrigeradas.

Además en la industria láctea se presentan pérdidas de leche entera durante la producción, contribuyendo de esta forma a la contaminación, así como también el lactosuero generado en la elaboración del queso con aportes de 60000mg/L de DQO aproximadamente (Pacurrucu, 2011).

#### **4.2.2. Efluentes provenientes de la industria de cárnicos**

Las industrias cárnicas así como otras industrias producen una gran cantidad de agua residual que deteriora la fuente receptora, cuando sus vertidos no son tratados, debido a que aportan materia orgánica, sólidos, nutrientes, hierro, grasa, metales y en algunos casos sangre, estos contenidos en las aguas residuales varían de acuerdo al proceso que se dé en la industria, por ejemplo está la fábrica de derivados, curtiembres, mataderos entre otros.

Las características físico-químicas promedio de los efluentes de algunas empresas que conforman la industria cárnica son: 360 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 153 mg/L de grasa e hidrocarburos, 13,3 mg/L de nitrógeno orgánico, 515 mg/L de DQO, un contenido de sólidos suspendidos de 104 mg/L, 250 mg/L de sólidos volátiles, pH de 7,6 unidades y temperatura d 30°C. (Orozco, *et al.*, 1985; citados por Landeta, 2009)

#### **4.2.3. Efluentes provenientes de la industria de frutas y hortalizas**

Los efluentes que se generan en la industria de frutas y hortalizas se caracterizan por los altos contenidos de sólidos suspendidos, azúcares, harinas, agentes de blanqueado, sales e incluso residuos de pesticidas (Restrepo, 2006). Las fuentes de generación de residuos en esta industria están más relacionadas con los procesos de lavado y equipos del sector de producción al igual que en otro tipo de industria alimenticia.

### **4.3. TRAMPAS DE GRASA**

Una trampa de grasa es una estructura que está constituida por un pequeño tanque o caja cubierta, cuya entrada está sumergida y la tubería de salida parte cerca del fondo. Su función principalmente separar las grasas y jabones de las aguas residuales que se generan en las cocinas y lavaderos de hoteles, restaurantes, instituciones educativas con comedor y otros lugares que por sus características particulares producen volúmenes apreciables de aguas residuales en sus cocinas y lavaderos (Calderón y Zambrano, 1992).

La función principal de esta estructura es evitar que las grasas y jabones disminuyan la eficiencia de los siguientes tratamientos complementarios, así como también impiden que las tuberías de alcantarillado se obstruyan por exceso de grasa o que los tanques sépticos fallen antes de tiempo por acumulación de grasa en el interior y deben ubicarse en lugares sombreados para mantener una temperatura baja en el interior (Calderón y Zambrano, 1992).

Este tipo de estructura se debe ubicar cerca de las instalaciones sanitarias que descarguen residuos que contengan grasas; sin embargo, a la trampa de grasa no

debe llegar agua residual generada por los servicios higiénicos y debe ser de fácil acceso para la inspección y limpieza (OPS/CEPIS, 2003).

#### **4.4. FILTRO PERCOLADOR**

Un filtro percolador corresponde a un sistema que está constituido por un medio fijo el cual está conformado por un lecho poroso empacado, a través del cual gotea el agua residual. La superficie del medio empacado, forma un biofilm o una película biológica compuesta por microorganismos, que está en constante contacto con la lámina de agua, llevándose a cabo la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales a tratar (Calderón y Zambrano, 1992).

La película formada contiene bacterias y hongos quienes son los responsables de metabolizar los compuestos orgánicos de las aguas residuales bajo condiciones aeróbicas, después de metabolizar la materia orgánica se forman algunos compuestos amoniacales, los cuales son oxidados y convertidos en nitritos y nitratos por bacterias autotróficas, que generalmente se ubican en la parte inferior del filtro (Calderón y Zambrano, 1992).

El filtro percolador está compuesto por un sistema para la distribución de las aguas residuales sobre el lecho empacado, medio de soporte, falso fondo, sistema de ventilación y sistema de recirculación (Calderón y Zambrano, 1992).

#### **4.5. TANQUE HOMOGENEIZADOR**

Esta estructura se utiliza para la homogeneización y regulación de caudales en la plantas de tratamiento de aguas residuales, principalmente en las industrias donde solo se generan aguas residuales durante algunos horarios de trabajo, por ejemplo en las centrales de sacrificio, mediante el tanque homogeneizador se trata de amortiguar las variaciones de caudal, de modo que a la planta de tratamiento llegue constantemente un caudal y que el agua residual posea unas características aproximadamente homogéneas al llegar a los tratamientos posteriores.

La homogeneización de caudales de aguas residuales tiene algunas ventajas importantes como las siguientes:

- a. Mejora el tratamiento biológico posterior debido a que hay dilución de sustancias inhibitoras y se estabiliza el pH lo anterior se para el tratamiento es necesario y determinante para los procesos.
- b. Mejora la calidad del efluente y la eficiencia de los tanques de sedimentación secundaria.
- c. Mejora rendimiento de los filtros. Entre otras ventajas que dependen del tipo de industria generadora del agua residual. (Metcalf & Eddy, 1996).

#### **4.6. LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA**

En un proceso de aireación extendida los microorganismos están en fase endógena, para lo cual se emplean periodos de retención más largos de lo convencional.

Esta variación en el proceso de lodos activados es muy empleada en plantas que procesan volúmenes de agua relativamente pequeños, como es el caso de una procesadora de aguas residuales de un hotel o de una micro industria.

En este tratamiento de aireación extendida, los lodos son retenidos durante periodos de aireación relativamente largos y no se tiene suficiente sustrato por lo que los microorganismos entran en fase endógena y consumen su propio tejido celular.

La consecuencia del metabolismo endógeno es que parte de las células se convierten en gases y la masa de lodos es menor que la que se produce en un proceso de lodos activados convencional, además de que los lodos producidos son más estables y menos putrefactos, por lo que es menos problemático su manejo y disposición final (Tchobanoglous *et al.*, 1998).

#### **4.7. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

Estos sistemas se diseñan para el tratamiento de agua residual, están compuestos por lo general por un lecho o canal, el cual contiene un lecho apropiado para el tratamiento y que sirve de soporte para las plantas emergentes, el lecho usado puede ser grava o piedras (EPA, 2000 citado por Londoño y Marin, 2009).

En Los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua se realiza a través del medio granular, el cual tiene una profundidad aproximada de 0,6m. Existen dos variantes de estos sistemas los cuales son los de flujo horizontal y los de flujo vertical; en los primeros se presenta flujo de agua permanente y se usa grava de 3mm a 32mm, en los de flujo vertical el flujo es de forma intermitente. (Delgadillo et al., 2010)

Las especies de macrófitas emergentes más usadas en zonas húmedas son el carrizo (*Phragmites*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus*) y Papiros. La mayoría de estas plantas presentan adaptaciones para vivir en ambientes anegados; presentan grandes ventajas como la de proporcionar una superficie adecuada para el crecimiento de biopelícula, capacidad de amortiguación a variaciones ambientales, asimilación de nutrientes, entre otras, a pesar de que algunas de estas especies son colonizadoras y requieren de un periodo de cosecha. (García y Corzo, 2006)

#### **4.8. LAGUNA DE MADURACIÓN.**

Este tipo de unidades de tratamiento se emplean generalmente para mejorar la calidad de agua tratada o reducir microorganismos patógenos; en este tipo de lagunas la fuente principal de carbono son las bacterias que se forman en las etapas previas de tratamiento, la reducción o muerte de las bacterias depende de factores como pH, producción de compuestos tóxicos por parte de las algas, agotamiento de nutrientes y exposición al sol (Martínez, 2003).

Para que las lagunas de maduración funcionen de manera óptima se recomiendan profundidades menores a 1m, para que los diferentes mecanismos se vuelvan más efectivos como la radiación solar o ultravioleta, elevado pH, elevada concentración de oxígeno disuelto, para así favorecer el desarrollo de organismos aerobios y se reduzcan los coliformes (Von Sperling, 2012), el tiempo de retención es generalmente de 3 a 10 días cuando se usan varias lagunas y como mínimo 5 días para cuando es una sola (Romero, 2005).

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 UBICACIÓN

El área de estudio correspondió a los sistemas de tratamiento que posee la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, vereda las Guacas, municipio de Popayán, Departamento del Cauca; en la figura 1 se muestra la ubicación.

Figura 1. Ubicación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca.



**Fuente:** Google Earth.

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca teniendo en cuenta los procedimientos reglamentados por Standard Methods (APHA *et al.*, 1992)



## 5.2. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE LOS LABORATORIOS DE PROCESOS APLICADOS

Se visitaron los laboratorios de lácteos, vegetales y cárnicos, por una semana durante los días que presentó actividad, para determinar los tiempos en los cuales los grifos permanecen abiertos y estimar de forma aproximada el caudal promedio del grifo empleando el método volumétrico y de esta forma determinar aproximadamente el volumen de agua residual generado. Se registró el tiempo en que el grifo está abierto para cuando el agua se utiliza en el lavado de material, manos, alimentos y desinfección, ya que ésta se va al desagüe y llega a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1: Jornadas de observación

Práctica	Horario	Fecha	Hora
Lácteos		05-11-2013	8:30am - 1:30pm
Vegetales		06-11-2013 y 13-11-2013	8:45am - 4:00pm y 9:00am-2:00pm
Cárnicos		08-11-2013 y 15-11-2013	7:45am - 12:00pm

La toma de datos se realizó desde la desinfección que se realiza previamente a la práctica y la desinfección final del área de trabajo

Ya determinado el caudal aproximado del grifo, se determina el volumen de agua residual que se genera en cada práctica teniendo en cuenta el volumen y tiempo promedios obtenidos en los aforos y el tiempo total que permanece abierto el grifo.

Los grifos del agua de los laboratorios poseen la misma capacidad, y se ubican en total 3 de ellos en cada laboratorio, uno de los grifos tiene adaptada una manguera para permitir el lavado de equipos y algunos materiales, así como también para lavado de mesones y pisos. Dos de los grifos se ubican sobre lavaplatos y el tercero tiene adaptada una manguera, además se cuenta con una canaleta para el desagüe.

## 5.3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DOMÉSTICAS Y AGROINDUSTRIALES.

Para evaluar este sistema fue necesario limitar la operación de la PTAR, por tal razón el by pass de la cámara que recibe las aguas residuales provenientes de los laboratorios estuvo abierto y dichos desechos llegaban directamente al tanque séptico y seguían el recorrido que ese muestra en el esquema 1.

### 5.3.1 Descripción del muestreo:

**5.3.1.1. Frecuencia:** Se realizaron cuatro jornadas de muestreo, una por semana, alternando los días de la semana.

En la tabla 2, se presentan las fechas correspondientes a cada muestreo realizado en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 2. Fechas de muestreo.

Muestreo n°	Fecha	Descripción
1	26 de agosto de 2013	Muestreo sobre agua residual domestica
2	6 de septiembre 2013	Operación de laboratorio de cárnicos
3	18 de septiembre 2013	Operación de laboratorio de vegetales
4	26 de septiembre 2013	Operación de laboratorio de granos y semillas

**Fuente:** Elaboración propia.

**5.3.1.2. Duración:** se tuvo en cuenta los horarios en que se presentaba actividad en los laboratorios de aplicados, por esta razón la jornada de muestreo se realizó en horas de la mañana, con una duración de 4,5 horas.

**5.3.1.3. Puntos de muestreo:** se seleccionaron los siguientes puntos para realizar la caracterización de las aguas residuales y determinar cómo es la dinámica de tratamiento a medida que pasa por cada unidad de tratamiento. Dichos puntos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Puntos de muestreo sistema de tratamiento de Agua Residuales Domésticas (A.R.D)

Punto de muestreo	Unidad de tratamiento
1	Cámara de entrada
2	Entrada Tanque séptico
3	Salida Tanque séptico
4	Salida Humedal de flujo subsuperficial
5	Salida Laguna de maduración

**Fuente:** Elaboración propia.

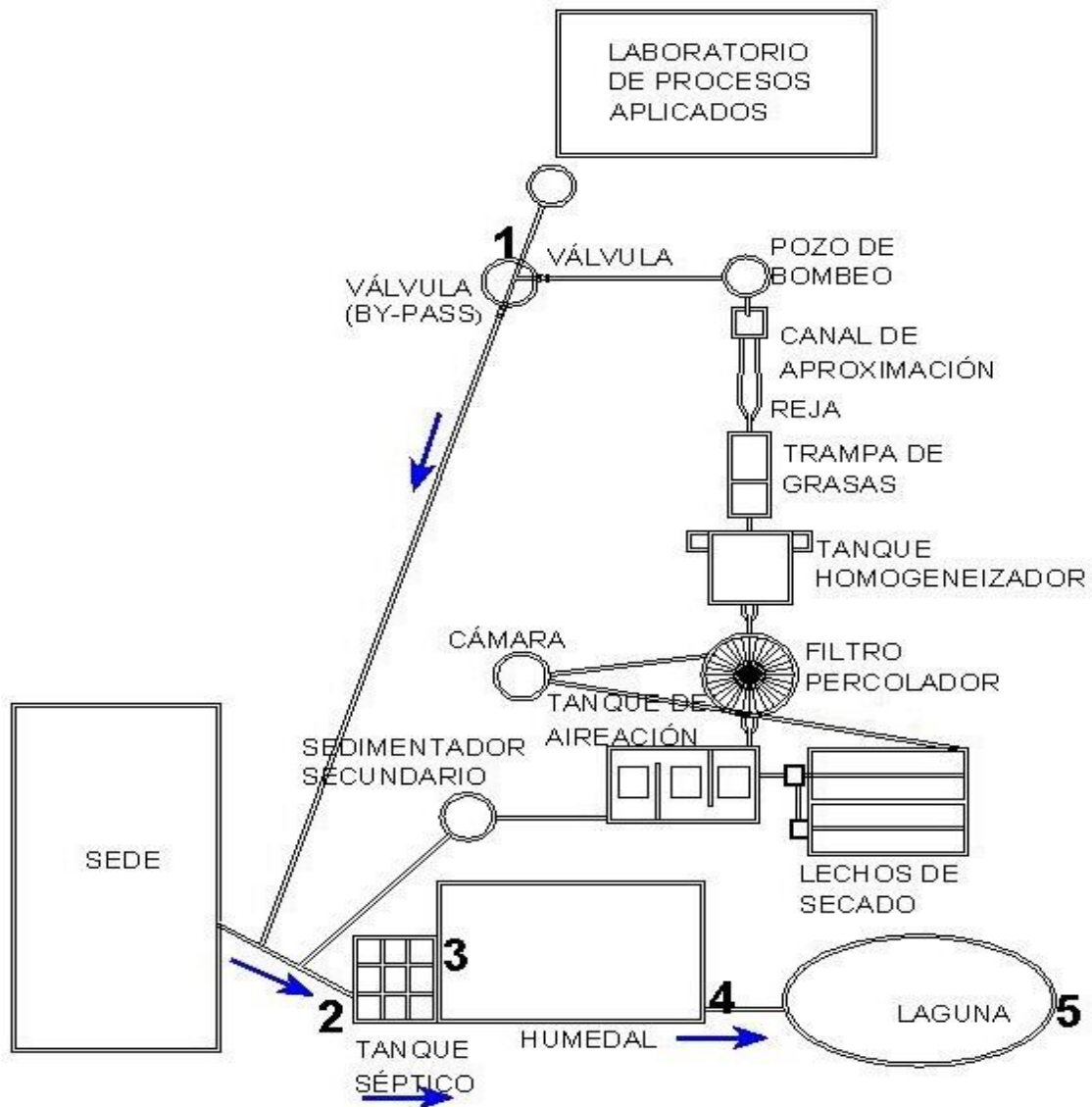
Adicionalmente se determinaron los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y pH, para la muestra del punto 5 filtrada, para eliminar la interferencia provocada por la presencia de algas; se tiene en cuenta que algunos parámetros como los Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT

no son posibles de medir en ésta circunstancia, puesto que al filtrar la muestra se eliminan los sólidos presentes.

Los puntos de muestreo mencionados anteriormente se muestran en el siguiente esquema, de igual forma se muestra el sentido del flujo indicado por una flecha.

Figura 2. Puntos de muestreo del sistema tanque séptico – humedal - laguna

## PUNTOS DE MUESTREO SISTEMA TANQUE SÉPTICO-HUMEDAL- LAGUNA



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2 Muestra

Se tomaron muestras compuestas cada 30 minutos, con un volumen total de muestra de 2 litros para cada punto de muestreo. Finalizado el muestreo se organizaron las muestras en la nevera, se llevaron al laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria; y se procedió con el respectivo análisis.

### 5.3.3 Análisis de muestras

Se realizó el análisis de las muestras para los siguientes parámetros siguiendo los métodos que se describen a continuación. Únicamente la temperatura se determinó in-situ, los demás parámetros fueron determinados en el laboratorio. En cada muestreo se tomaron cinco muestras, sin embargo para los parámetros de pH, DQO y DBO<sub>5</sub> se analizó una sexta muestra que corresponde a la muestra cinco filtrada para eliminar interferencias por algas.

**5.3.2.1 Temperatura:** Se determinó la temperatura para cada muestra, usando un termómetro de gota.

**5.3.2.2 pH:** Se tomó un volumen del agua residual y se midió el pH a cada una de las muestras, usando un pH-metro, siguiendo las instrucciones para obtener resultados adecuados.

**5.3.2.3 Sólidos totales:** En una cápsula de porcelana, (previamente llevada a una temperatura de 550°C por una hora y posteriormente pesada en una balanza analítica), se adicionaron 25mL de muestra de agua residual agitada, se sometió a evaporación en una estufa; posteriormente se secó el residuo en un horno a 105°C durante 20 minutos, después se pasó cada muestra al desecador para enfriar la cápsula y finalmente pesarla en una balanza analítica. Se realiza el mismo procedimiento para las cinco muestras.

Para el cálculo de los sólidos totales se empleó la siguiente ecuación:

$$ST (mg/L) = \frac{((masa\ cápsula + residuo) - (masa\ cápsula\ vacía))g}{Volumen\ de\ la\ muestra\ mL} \times 1 \times 10^6$$

**5.3.2.4 Sólidos suspendidos totales:** En la determinación de sólidos suspendidos se utilizó una caja de petri y un filtro de fibra de vidrio de 47mm de diámetro. El conjunto anterior se colocó a secar durante dos horas en el horno a una temperatura de 105°C y posteriormente se pesó el filtro en la balanza analítica. Para filtrar el agua residual de cada muestra se dispuso del equipo de filtración al vacío, y se empleó un volumen de 100mL de muestra de agua residual agitada.

Una vez realizada la filtración, el filtro con el residuo se colocó en la caja de petri y se llevó al horno a 105°C durante una hora, posteriormente se pasó al desecador y se dejó enfriar por una hora para luego pesar el filtro con el residuo en la balanza analítica.

Se empleo la siguiente ecuación para determinar la concentración de sólidos suspendidos totales:

$$SST (mg/L) = \left( \frac{(masa\ filtro + residuo) - (masa\ filtro\ vacía)}{Volumen\ muestra\ mL} \right) g \times 1 \times 10^6$$

**5.3.2.5 Sólidos disueltos totales:** Se determinaron por sustracción de los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

**5.3.2.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Para este parámetro se empleó el método de microanálisis Hatch, el cual se describirá a continuación:

**5.3.2.6.1. Estandarización del Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS):** A un beaker de 100mL se adicionaron 2,5mL de dicromato de potasio 0,25N, se completó a 10mL con agua destilada y se agregaron 3mL de ácido sulfúrico concentrado. A continuación se tituló con el FAS 0,1N, empleando una bureta de 25mL. El cambio de color de azul verdoso a café rojizo indica el punto de equivalencia en la titulación, por tanto el volumen de FAS gastado en este punto es el volumen equivalente en la titulación. Posteriormente se calculó la normalidad real del FAS, siguiendo la siguiente ecuación:

$$N_{FAS} = \frac{Volumen_{Dicromato} \times N_{Dicromato}}{Volumen\ gastado_{FAS}}$$

**5.3.2.6.2. Preparación de 80mL FAS 0,025N:** Se siguió la siguiente ecuación:

$$V_{concentrado} = \frac{N_{diluido} \times V_{diluido}}{N_{concentrado}}$$

En donde:

$V_{diluido}$ : volumen dilución que equivale a 80mL

$N_{diluido}$ : normalidad del fas diluido 0,025N

$N_{concentrado}$ : normalidad del FAS concentrado.

Después de hallar el volumen de FAS concentrado necesario para la dilución, se preparó en un beaker el FAS 0,025N adicionando el volumen encontrado y completando hasta 80mL con agua destilada.

### 5.3.2.6.3. Preparación de las muestras:

En un tubo de ensayo se adicionó:

- 2mL de muestra
- 2mL de ácido sulfúrico concentrado
- 1mL de dicromato de potasio 0,25N

Para el blanco se tomaron 2mL de agua destilada en lugar de los 2mL de muestra.

El procedimiento se realizó para cada muestra y se hizo el análisis de la muestra cinco filtrada y sin filtrar.

Los tubos de ensayo se taparon y se llevaron al digestor por 2 horas, se esperó que se enfriaran y se procedió a titular con el FAS 0,025N.

Finalmente se determina la DQO, empleando la ecuación que se encuentra en el Anexo A1.

**5.3.2.7. DBO<sub>5</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno):** Para determinar la DBO<sub>5</sub> se empleó el DBO Track, y se analizaron seis muestras, la sexta como ya se mencionó anteriormente corresponde a la muestra cinco filtrada.

Se siguió el manual de funcionamiento del equipo con rigurosidad. Los volúmenes de muestra que se utilizaron en esta prueba son los siguientes (valores establecidos en el manual del equipo y que básicamente dependen del rango de la DQO esperada) y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Volumen de agua residual empleado en DBO<sub>5</sub>

Punto	Volumen de agua residual mL
Cámara de entrada	160
Entrada tanque séptico	160
Salida tanque séptico	160
Salida humedal	355
Salida laguna de maduración	355
Salida laguna filtrada	160

**Fuente:** Elaboración propia.

El equipo se programó para 5 días, al cabo de ese tiempo se tomó la lectura y se procedió a desechar el contenido de las botellas.

**5.3.2.8. Aforo de caudal:** Los aforos de caudal se realizaron en la entrada del tanque séptico, la salida del humedal y en la salida de la laguna de maduración cuando fue posible aforar en esta última. La duración de los aforos fue de 4,5 horas cada 30 minutos, empleando el método volumétrico (Volumen sobre tiempo).

#### **5.4. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

**5.4.1 Puntos de muestreo:** Se seleccionaron los siguientes puntos para realizar la caracterización de las aguas residuales. En la tabla 5 se describen los puntos de muestreo.

Tabla 5. Puntos de muestreo sistema de tratamiento agroindustrial

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Unidad de tratamiento</b>
1	Entrada Pozo de bombeo
2	Entrada filtro percolador
3	Entrada cámara inspección
4	Salida tanque de aireación

**Fuente:** Elaboración propia.

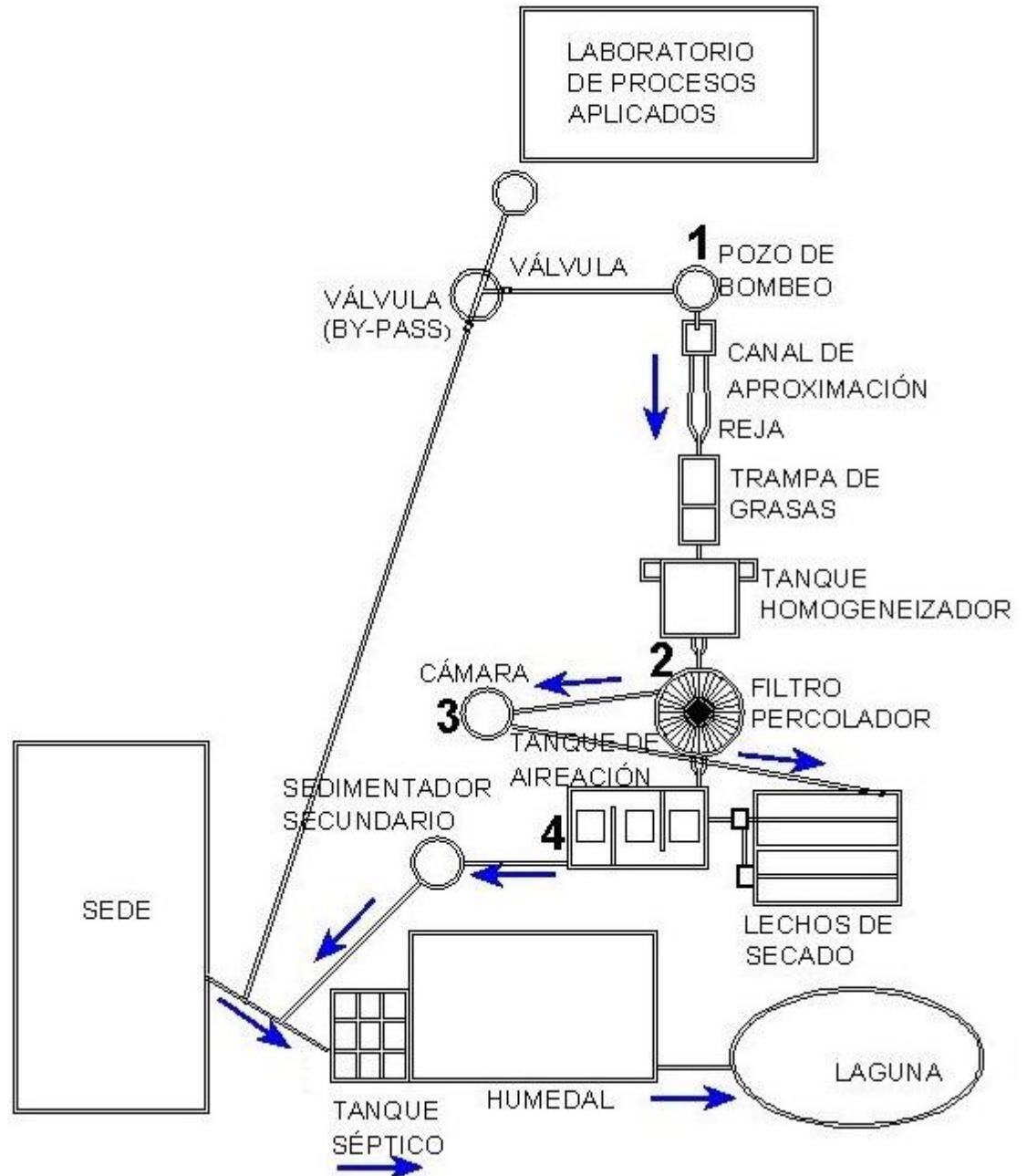
Se tomaron los anteriores puntos para determinar la calidad del agua residual tratada en el sistema industrial.

Los puntos de muestreo se indican en el siguiente esquema al igual que los correspondientes sentidos de flujo.

Es necesario aclarar que en el punto donde se mezcla el agua residual doméstica y efluente tratado en la planta de tratamiento industrial, no es posible realizar monitoreo, puesto que no se encuentra una caja de inspección, sino que se presenta una unión en las tuberías que están enterradas.

Figura 3. Puntos de muestreo y sentido del flujo.

## PUNTOS DE MUESTREO PLANTA DE TRATAMIENTO AGROINDUSTRIAL



Fuente: Elaboración propia.



**5.4.2. Descripción del muestreo:** La frecuencia del muestreo en este caso dependió básicamente en la producción de agua residual en las instalaciones de los laboratorios de alimentos, además, del estado de la bomba de succión ubicada en la primera cámara, es por lo cual no se presentó una frecuencia constante en los periodos de muestreo.

Se realizaron cuatro muestreos compuestos con un tiempo de duración promedio de 4,5 horas por cada muestreo, obteniendo un volumen promedio de 222mL cada 30 min para un total de 2L de muestra por cada punto de muestreo.

**5.4.3. Frecuencia de muestreo:** Se realizaron 3 jornadas de muestreo, una vez a la semana, no se realizaron en semanas consecutivas debido a problemas con el funcionamiento de la bomba de la cámara de entrada. La información detallada se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Fechas de muestreo de sistema de agua residual agroindustrial.

Muestreo n°	Fecha	Descripción
1	21 de junio de 2013	Muestreo sobre agua residual domestica
2	4 de octubre 2013	Operación de laboratorio de cárnicos
3	11 de octubre 2013	Operación de laboratorio de vegetales

**Fuente:** Elaboración propia.

**5.4.4. Aforo de caudal:** Se realizaron aforos a la entrada del sistema de tratamiento por triplicado, considerando tres bombeos con una duración total de 20 minutos durante toda la jornada.

**5.4.5. Parámetros evaluados:** Los parámetros evaluados en este sistema fueron los mismos parámetros evaluados en el sistema anterior al igual que las metodologías empleadas para la determinación de cada uno de los parámetros.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1. DETERMINACIÓN DE CAUDAL EN LOS LABORATORIOS DE PROCESOS APLICADOS

Como ya se mencionó, para la determinación del caudal generado en los laboratorios y el volumen el agua residual generada se realizó visitas a las instalaciones donde se lleva a cabo dichos procesos.

#### 6.1.1 Aforo caudal del grifo

En la tabla 7, se muestra los datos que se obtuvieron durante los aforos de caudal correspondiente a los grifos que están instalados en los laboratorios de procesos aplicados.

Tabla 7. Aforo caudal LPA.

Volumen L	Tiempo s	Caudal L/s
0,6	5,63	0,107
0,6	4,78	0,126
7,0	59,9	0,117
9,5	89,3	0,106
7,0	40,4	0,173
10	48,1	0,208
4,5	32,5	0,138
2,0	11,5	0,174
10	85,4	0,117
9,0	77,2	0,117
9,0	78,1	0,115
0,4	3,20	0,125

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.1.1 Valores promedio

En base a los valores anteriormente mostrados para el aforo de caudal, se determina el caudal promedio de los grifos de los LPA, que se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Valor promedio de caudal.

Caudal promedio L/s	Tiempo promedio s	Volumen promedio L
0,135	44,68	5,800

**Fuente:** Elaboración propia.

Se tuvo en cuenta el tiempo que permanecen abiertos los 2 ò 3 grifos, situaciones para las cuales se incrementa el caudal.

**6.1.1.2 Caudal cuando se abren 2 grifos de agua:** Generalmente funcionan 2 llaves, en situaciones de lavado de materiales durante el procesado de alimentos y lavado de manos. El caudal promedio se afecta por el número de grifos abiertos en esta caso 2.

$$Q_{2 \text{ grifos}} = 2 * \frac{0,135 \text{ L}}{\text{s}} \rightarrow Q_{2 \text{ grifos}} = 0,270 \text{ L/s}$$

**6.1.1.3 Caudal cuando se abren los 3 grifos de agua:** Los 3 grifos permanecen abiertos especialmente para cuando se realiza la desinfección pre y pos practica. El cálculo es similar al anterior, tomando 3 grifos abiertos.

$$Q_{3 \text{ grifos}} = 3 * Q_{\text{promedio 1 grifo}}$$

$$Q_{3 \text{ grifos}} = 3 * \frac{0,135 \text{ L}}{\text{s}} \rightarrow Q_{3 \text{ grifos}} = 0,405 \text{ L/s}$$

En este caso el caudal para cuando están abiertos los tres grifos corresponde al caudal máximo posible.

**6.1.1.4 Caudal máximo probable:** Para su determinación se hace necesario establecer el caudal de los aparatos instalados y sumarlos, en este caso solo se cuenta con tres grifos en cada planta de de procesado de alimentos, el caudal de los grifos se afecta por el factor de simultaneidad  $K_1$ , el anterior coeficiente se determina mediante la siguiente ecuación (Castro *et al.*, 2006):

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{n - 1}}$$

Donde:

N: es el número de aparatos instalados.

En este caso n corresponde a los 3 grifos puesto que en los laboratorios no se cuentan con más aparatos que generen caudal.

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{3 - 1}} \rightarrow K_1 = 0,71$$

Luego se procede a calcular el caudal máximo probable:

$$Q_{\text{máx probable}} = K_1 \times Q_{\text{máx posible}}$$

$$Q_{\text{máx probable}} = 0,71 \times \frac{0,405L}{s} \rightarrow Q_{\text{máx probable}} = 0,29L/s$$

### 6.1.2 Volumen de Agua Residual generada en los laboratorios de procesos aplicados (LPA)

Se utilizó la siguiente expresión para determinar el volumen total generado en cada práctica de laboratorio.

$$\text{Volumen de agua} = \frac{V_{\text{promedio}} \times \text{tiempo llave abierta}}{\text{tiempo promedio}}$$

**6.1.2.1 Laboratorio de lácteos:** Durante esta práctica se siguió el procedimiento para la obtención de arequipe, se empleo leche, azúcar, carbonato de sodio, almidón, entre otros ingredientes.

Duración práctica: 4,5 horas

$$\text{Volumen de agua} = \frac{5,8 L \times 1653,2 s}{44,68 s} \rightarrow \text{Volumen de agua} = 214,6 L$$

En la tabla 9 se discriminan los tiempos que duraron abiertos los grifos.

Tabla 9. Tiempo de duración de los grifos abiertos, laboratorio de lácteos.

	<b>1 grifo</b>	<b>2 grifos</b>	<b>3 grifos</b>
<b>Tiempo (s)</b>	1351,5	174,24	127,44

**Fuente:** Elaboración propia.

Del tiempo total que duran los grifos abiertos, 569,44 segundos duran abiertos en el proceso de desinfección de las instalaciones, empleando un volumen de agua de 73,92L, el tiempo restante corresponde al proceso de elaboración de productos.

**6.1.2.2 Laboratorio de vegetales:** Durante el proceso de obtención de producto no se emplea gran cantidad de agua comparada con la que se emplea después en el lavado de equipos y material y la desinfección de la planta de procesados lácteos.

Duración de la jornada 1: 7,33 horas y la jornada 2 duró 6,0 horas.

Se desarrollaron los procesos de encurtidos, mínimamente procesados en la primera jornada, y encurtidos y conservas vegetales no fermentados en la segunda jornada de seguimiento.

En general en la práctica se utilizaron productos como zanahoria, habichuela, arveja, repollo, pimentón, olluco, acelga, apio, maíz, entre otros vegetales y productos como el carbonato de sodio, ácido cítrico, ácido ascórbico, vinagre, entre otros.

La realización de los procesos ya mencionados demanda una gran cantidad de agua especialmente porque los productos vegetales deben ser lavados bien, para que el producto final sea de excelente calidad, además del agua que se emplea durante la rutina de desinfección de la planta de procesamiento vegetales.

A continuación se determina el volumen de agua residual generado en cada jornada de observación.

- **Jornada 1:**

$$\text{Volumen de agua} = \frac{5,8 \text{ L} \times 7693,88 \text{ s}}{44,68 \text{ s}}$$

$$\text{Volumen de agua} = 998,8 \text{ L}$$

- **Jornada 2:**

$$\text{Volumen de agua} = \frac{5,8 \text{ L} \times 5596,64 \text{ s}}{44,68 \text{ s}}$$

$$\text{Volumen de agua} = 726,5 \text{ L}$$

La tabla 10 muestra los tiempos que duraron los grifos abiertos para cada jornada.

Tabla 10. Tiempo de duración de los grifos abiertos, laboratorio de vegetales.

Jornada	Tiempo (s)		
	1 grifo	2 grifos	3 grifos
1	7296,3	169,94	227,59
2	4909,1	410,83	276,68

**Fuente:** Elaboración propia.

Como ya se mencionó, parte del agua se emplea en el proceso de desinfección, que varía dependiendo de la práctica de laboratorio, en la tabla 11 se muestra el tiempo que duró la desinfección y el volumen de agua empleada en dicha actividad, para cada jornada.

Tabla 11. Tiempo y volumen de agua empleada en desinfección.

Jornada	Tiempo de desinfección (s)	Agua empleada en desinfección (L)
1	2165,8	281,15
2	2506,1	325,33

**Fuente:** Elaboración propia.

**6.1.2.3 Laboratorio de cárnicos:** Lo mismo que en los otros laboratorios de procesado de alimentos se empleo bastante agua en la desinfección y el lavado de la materia prima y de equipos.

La jornada 2 duró 4,25 horas y la jornada de observación 2 duró 5,5 horas.

Durante la prácticas se llevó a cabo la elaboración de Jamón cocido y Suri mi.

Se determinó el volumen de agua residual generada durante las dos jornadas de observación de la misma forma que se realizó para el laboratorio de vegetales.

- **Jornada 1:**

$$\text{Volumen de agua} = \frac{5,8 \text{ L} \times 5113,13 \text{ s}}{44,68 \text{ s}} \rightarrow \text{Volumen de agua} = 663,7 \text{ L}$$

- **Jornada 2:**

$$\text{Volumen de agua} = \frac{5,8 \text{ L} \times 2904,19 \text{ s}}{44,68 \text{ s}} \rightarrow \text{Volumen de agua} = 377,0 \text{ L}$$

Los tiempos que permanecieron los grifos abiertos se muestran en la tabla 12, con respecto a cada jornada de observación.

Tabla 12. Tiempo de duración grifos abiertos, laboratorio de cárnicos.

Jornada	Tiempo (s)		
	1 grifo	2 grifos	3 grifos
1	4371,14	363,58	378,41
2	2302,55	396,62	205,02

**Fuente:** Elaboración propia.

También se determinó el tiempo de desinfección y el volumen de agua que se empleó en este proceso, dichos valores se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. Tiempo y volumen de agua empleada en desinfección.

Jornada	Tiempo de desinfección (s)	Agua empleada en desinfección (L)
1	1442,35	281,15
2	1259,28	325,33

**Fuente:** Elaboración propia.

El volumen de agua residual generado en los laboratorios de procesos aplicados, depende directamente del proceso a realizar en cada práctica, generándose la mayor cantidad de agua residual durante la desinfección de mesones, pisos y equipos que se efectúa antes y después de realizado el procesado de alimentos; el caudal que se presenta con más frecuencia es de 0,135L/s, caudal que se presenta para cuando está abierto un solo grifo.

Durante el periodo de observación se notó que en el procesado de vegetales es el genera mayor cantidad de agua residual, valores que disminuyen en los laboratorios de cárnicos y lácteos.

En una semana de producción, los laboratorios de cárnicos, lácteos y vegetales generan un volumen aproximado de agua residual de 1877,12L (1,877 m<sup>3</sup>), volumen de agua que es inferior a la capacidad que presentan las unidades de tratamiento, por lo tanto si la planta de tratamiento sigue funcionando con las condiciones actuales, es necesario definir una rutina de tratamiento que permita dar mayor continuidad a los tiempos de operación de la PTAR, es decir que se deje acumular agua en la primera cámara de modo que se surta agua a todas las unidades y se minimicen los costos por operación de equipos.

Teniendo en cuenta que el volumen del tanque homogeneizador, es la unidad donde se acumula la mayor cantidad de agua (3,8m<sup>3</sup>) se requeriría para dar continuidad a los procesos encargados por las unidades siguientes al tanque aproximadamente 2 semanas de producción de aguas residuales en los laboratorios de procesado de alimentos y con las rutinas actuales de trabajo.

Tiempo que es supremamente largo para un sistema de tratamiento, además, se evidenció que este lapso de tiempo tan alto permite la formación de algas en esta unidad favoreciendo procesos inadecuados en ella.

En la tabla 14, se muestran las sustancias químicas que se usan para el proceso de desinfección y sus respectivas concentraciones.

Tabla 14. Superficies y concentraciones en las que se emplea hipoclorito de sodio los Laboratorios de Procesos Aplicados.

<b>Superficie a desinfectar</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Volumen de solución</b>	<b>Volumen producido</b>	<b>Concentración final</b>
Canaleta	50.000 ppm	10 L	80mL	400 ppm
Equipos	50.000 ppm	10 L	10mL	50 ppm
Lava botas	50.000 ppm	10 L	80mL	400 ppm
Manos	50.000 ppm	10 L	10mL	50 ppm
Mesones	50.000 ppm	10 L	40mL	200 ppm
Paredes	50.000 ppm	10 L	60mL	300 ppm
Pisos	50.000 ppm	10 L	60mL	300 ppm
Utensilios	50.000 ppm	10 L	20mL	100 ppm

**Fuente:** Elaboración propia.

Otros desinfectantes empleados son los que se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Otros desinfectantes empleados en los LPA.

<b>Superficie a desinfectar</b>	<b>Producto</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Volumen de solución</b>	<b>Volumen producido</b>	<b>Concentración final</b>
Materia prima	Citrosan	40%	1 L	2,5mL	0,10%
Planta física, Equipos, utensilios	Penta quat	10%	1 L	2mL	0,02%
Aero ambiente y equipos	Tego 51	100%	1 L	5mL	2%
Equipos y utensilios	Degratec 25	100%	1 L	750mL	75%

**Fuente:** Elaboración propia.

En las tablas anteriores se indican los productos utilizados en la desinfección y que inciden directamente en el tratamiento de aguas residuales, generando variaciones de pH e inhibiendo el crecimiento de microorganismos degradadores de materia orgánica.

De acuerdo con las fichas técnicas de seguridad se tiene que el pH del hipoclorito de sodio es de 14; el citrosan a pesar de ser un desinfectante



biodegradable posee un pH de 3 a 4 unidades; en el caso del penta quat el pH varía entre 6,5 a 9,5; para el desinfectante Degratec se presenta pH de 6,8 a 8,8 y para el Tego 51 el pH varia de 7,7 a 8,7 unidades. Claramente se observa como varía el pH en estas sustancias, aunque la mayoría son de carácter básico; la concentración de Degratec 21 no afecta el tratamiento de aguas residuales según lo mostrado en la ficha de seguridad de este desinfectante, sin embargo productos como el penta quat presenta incompatibilidad con sustancias cloradas.

La mezcla de los desinfectantes utilizados en los laboratorios de procesos aplicados y las sustancias químicas, empleadas durante la producción, tales como, ácido cítrico, ácido ascórbico, cloruro de sodio y entre otras, puede ocasionar la formación de sales y compuestos complejos de modo que sus concentraciones afecten el crecimiento de microorganismos que participan en el tratamiento del agua residual, además de las posibles alteraciones de pH.

## 6.2 AFOROS DE CAUDAL (L/s)

Se determinaron las estadísticas descriptivas empleando el software SSPS Statistics 17,0.

Desde la tabla 16 a la tabla 30, se muestran los resultados obtenidos en las estadísticas descriptivas, correspondientes a cada uno de los parámetros como se indica en el título de cada una de ellas.

Donde:

$\bar{X}$  : Media aritmética

$Cv$ : Coeficiente de variación

Las anteriores expresiones se aplican para todas las tablas que contienen estadísticas descriptivas. Se muestran además los valores máximos y mínimos, para cada parámetro.

La tabla número 16 muestra las estadísticas obtenidas para los caudales aforados.

Tabla 16. Estadísticas descriptivas de Caudal. (L/s)

Puntos de aforo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada sistema A.R.I	2,92	29,45	1,790	4,49
Entrada Tanque Séptico	0,19	51,55	0,074	0,49
Salida del Humedal	0,05	12,54	0,039	0,07
Salida de la laguna	0,34	28,61	0,221	0,58

**Fuente:** Elaboración propia.

El caudal de entrada al sistema de Aguas Residuales Industriales corresponde al caudal de bombeo; el tiempo que duró el bombeo en los 3 muestreos realizados en el sistema industrial fue de 20 minutos en 2 de los muestreos y 30 minutos en otro.

Tiempo promedio de bombeo ( $t_B$ ): 23,3 minutos

Se determina el caudal equivalente para el caudal de bombeo, con base a las siguientes ecuaciones:

$$V = Q_B \times t_B$$

Donde:

- $Q_B$ : Caudal de bombeo
- $t_B$ : tiempo de bombeo
- $V$ : volumen de agua bombeada

$$V = \frac{2,92L}{s} \times 23,3min \times \frac{60s}{1min} \rightarrow V = 4087,4L$$

$$Q_{eq} = \frac{V}{\text{Tiempo de muestreo}}$$

- $Q_{eq}$ : Caudal equivalente

$$Q_{eq} = \frac{4087,4L}{4,5h} \times \frac{1h}{3600s} \rightarrow Q_{eq} = 0,25L/s$$

Este valor ratifica la consistencia del valor obtenido para el caudal máximo probable, ya que no se presenta una diferencia significativa entre estos dos valores dando así una idea clara del caudal producido en los laboratorios y el caudal equivalente determinado para la planta de tratamiento de agua residual.

Al comparar el caudal equivalente de entrada (0,25L/s), con los demás caudales se encuentra que éste es mayor con respecto al caudal que entra al tanque séptico (0,19L/s), y al caudal correspondiente a la salida del humedal (0,05L/s), estas diferencias se deben a que el caudal que entra al sistema se supone que es constante durante la jornada de muestreo (4,5horas), lo contrario ocurre en las 2 unidades mencionadas, puesto que en el tanque séptico hay flujo de agua en horas de actividad académica (9 horas) y en el humedal el flujo es continuo.

De la misma forma el caudal de salida de la laguna (0,34L/s) se ve alterado por la presencia de las conexiones de aguas lluvias a esta unidad de tratamiento, además de otra conexión proveniente de las instalaciones donde se lleva a cabo el lavado de quinua, que de forma esporádica presenta vertimientos a la misma y

que afecta la calidad del agua. Durante una jornada de muestreo se observó este vertimiento y se analizaron algunos parámetros.

El caudal de salida del humedal (0,05L/s), es inferior al que llega al tanque séptico (0,19L/s), porque en el tanque séptico llega agua residual, solo en horas en las que hay actividad en la facultad debido a que el agua que llega a dicha unidad proviene de las baterías sanitarias, laboratorios, entre otros, y no se presenta flujo continuo durante las 24 horas, por otra parte, el caudal de salida del humedal se ve afectado por el tiempo de retención en éste, ya que posee un medio de soporte de baja porosidad, provocando que la velocidad del agua sea baja.

En cuanto a las medidas estadísticas de variación se observa que para el tanque séptico se obtiene un coeficiente de variación de 51,55%, valor mayor con respecto a los coeficientes de variación de la salida del humedal (12,54%) y salida de la laguna (28,61%), lo anterior se puede atribuir a que en el caudal de entrada al tanque séptico se altera sobretodo en horas de cambio de clase donde se produce la mayor actividad del estudiantado en la cafetería, y baterías sanitarias, obteniéndose valores de caudal máximo de 0,49L/s y en horas de poca actividad valores mínimos como 0,07L/s, caso contrario ocurre en la salida del humedal, puesto que esta unidad recibe flujo continuo, lo que hace que el caudal de salida sea constante, además se tiene una estructura de control de caudal.

### 6.3 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SISTEMA TANQUE SÉPTICO, HUMEDAL Y LAGUNA DE MADURACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DOMÉSTICAS Y AGROINDUSTRIALES.

Se realizaron 4 muestreos. Los puntos se describieron en la sección anterior de metodología en la tabla 3.

#### 6.3.1 Sólidos Totales(mg/L)

Tabla 17. Estadísticas descriptivas de Sólidos Totales (ST).

Punto de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Cámara de entrada	311,0	22,21	256	412
Entrada tanque séptico	340,0	33,17	152	476
Salida tanque séptico	183,0	38,42	96,0	268
Salida humedal	173,0	21,39	148	228
Salida laguna de maduración	158,3	26,78	108	212

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, consignados en la tabla 17, se observa que de acuerdo a la media, se tienen concentraciones de 340 mg/L, en el tanque

séptico, esta concentración resulta superior a las demás, puesto que en el tanque séptico se reciben aguas residuales domésticas sin ningún pre tratamiento y suelen observarse material higiénico – sanitario, el cual es de difícil degradación, incluso se encontraron concentraciones de 476 mg/L. A pesar de las elevadas concentraciones que llegan al tanque séptico de sólidos totales, en esta unidad se elimina una cantidad considerable pasando de 340 mg/L en la entrada del tanque séptico a 183 mg/L de sólidos totales en la salida de dicha unidad; sin embargo se obtienen disminuciones de concentración menores al entrar al humedal de flujo subsuperficial, ya que en este se reduce a 173 mg/L SST, esta baja reducción se debe al medio filtrante puesto que es muy fino y es probable que haya arrastre de material; de igual forma ocurre en la laguna de maduración en donde se presenta interferencia por la presencia de algas que se reportan como sólidos totales.

### 6.3.2 Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

Tabla 18. Estadísticas descriptivas de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

<b>Puntos de muestreo</b>	$\bar{X}$	<i>Cv</i>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
Cámara de entrada	103,8	42,49	72,0	166
Entrada tanque séptico	120,9	59,24	17	219
Salida tanque séptico	14,50	57,59	4,00	23,0
Salida humedal	2,750	18,18	2,00	3,00
Salida laguna de maduración	60,14	37,73	32,0	95,0

**Fuente:** Elaboración propia.

Inicialmente los SST aumentan al llegar al tanque séptico, pasando de una concentración de 103,8 mg/L a 120,9 mg/L, unidad en la cual se mezclan las aguas residuales industriales y domésticas, en el tanque séptico se remueve gran cantidad de SST debido al proceso de sedimentación de partículas pesadas, fenómeno que se ve favorecido por el tiempo teórico de retención hidráulico en esta unidad que es de aproximadamente 3,92 días y el diseño que presenta esta unidad, puesto este tanque se comporta como un tanque séptico de baffles con secciones típicas (OPS/CEPIS, 2005). Después del tanque séptico el agua residual continúa su tratamiento en el humedal de flujo subsuperficial donde se alcanza una remoción considerable de SST, disminuyendo de 14,5mg/L de SST que salen del tanque séptico a 2,75 mg/L de SST que salen del humedal de flujo subsuperficial, gracias a la sedimentación de las partículas y por la filtración de ellas a través del lecho filtrante (Rodríguez, 2003), además de la baja velocidad que se da a lo largo del humedal, la presencia frecuente de flujo laminar, y las raíces de las plantas que evitan la re suspensión del material particulado (Llagas y Guadalupe, 2006), este parámetro se incrementa a 60,14 mg/L SST en la muestra tomada a la salida de la laguna debido a la presencia de algas en el agua residual.

Con respecto a las medidas de variación se observa que para el humedal las variaciones son menores debido a que ésta unidad recibe el agua residual tratada en el tanque séptico, y no agua residual cruda, lo que sucede en las demás unidades que reciben agua residual cruda que su concentración se ve afectada por los diferentes actividades que originen el desecho.

### 6.3.3 Sólidos Disueltos Totales (mg/L)

Tabla 19. Estadísticas descriptivas de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máy.
Cámara de entrada	207,25	19,13	152	246
Entrada tanque séptico	219,14	38,71	83,0	329
Salida tanque séptico	168,50	38,34	92,0	249
Salida humedal	170,25	21,64	145	225
Salida laguna de maduración	98,143	45,52	43,0	174

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 19 se puede notar el incremento de sólidos disueltos totales al pasar el agua residual por el humedal artificial, incremento que puede atribuirse al medio de soporte ya que es una mezcla de compost y puede presentarse el desprendimiento de este y reportarse alterando el valor de este parámetro, además de la presencia de carbonatos, iones y moléculas orgánicas e inorgánicas como amoníaco, nitrógeno y fósforo que en la unidad siguiente favorecen el crecimiento de algas.

Se presenta un ligero incremento en los sólidos totales en el tanque séptico, pasando de 207,25mg/L a 219,14mg/L, incremento causado por la mezcla con el agua residual doméstica, y alcanzándose valores máximos de 329 mg/L, de igual forma en el tanque séptico se presenta alta variación (38,71%), causada por la composición del agua residual que llega a dicha unidad, lo mismo sucede en la laguna donde se tiene una variación del 45,52% por efecto del posible arrastre de material desde el humedal, efectos causados por la algas o incluso por la variaciones en las variables climatológicas (ver anexo 2), puesto que se presentaron lluvias, que influyen directamente sobre la composición del agua residual presente en la laguna de maduración.

### 6.3.4 pH

Tabla 20. Estadísticas descriptivas de pH.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Cámara de entrada	6,65	10,23	6,1	7,50
Entrada tanque séptico	8,24	12,98	6,3	9,40
Salida tanque séptico	7,85	15,29	6,8	9,10
Salida humedal	7,35	8,780	6,5	7,90
Salida laguna de maduración	10,7	9,608	9,3	11,8
Salida laguna de maduración filtrada	9,87	1,540	9,7	10,0

**Fuente:** Elaboración propia.

Aunque durante las prácticas de laboratorios se utiliza desinfectantes como el hipoclorito de sodio al 5%, el pH en la entrada del sistema no es muy bajo lo que indica que las sustancias empleadas en la diferentes practicas son compuestos de pH cercano al neutro o que el tiempo de retención en la entrada no es muy alto, sin embargo al combinarse con el agua residual doméstica el pH aumenta volviéndose de carácter básico ya que el pH de estas aguas antes de la mezcla es ligeramente alcalino; a medida que avanza la descomposición anaerobia, el pH empieza a disminuir aproximándose a valores neutros hasta la salida del humedal, sin embargo en ésta se vuela a incrementar este valor hasta 10,5 unidades de pH, por la acción de las algas las cuales aportan oxigeno al agua durante las horas de mayor brillo solar y aumentan el pH, esto se puede corroborar ya que al medir el pH a la muestra filtrada disminuye (Ramalho 1996).

Se conoce que la depuración del agua residual depende además de la presencia de microorganismos, el pH que posee el agua residual analizada se encuentra entre el rango de pH optimo que es entre 6,5 y 7,5 según Metcalf y Eddy (1996), permitiendo el crecimiento bacterial y beneficiando los procesos de tratamiento, sin embargo en las muestras tomadas de la laguna se presenta un pH mayor que ya se discutió anteriormente el porqué de estos valores.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los valores de pH son superiores a 7 unidades es posible encontrar nitrógeno en forma de amoniaco (Metcalf y Eddy, 1996), haciendo aportes al contenido de sólidos disueltos.

Con base en el coeficiente de variación se observa que la menor variación (1,540%), se presento en la muestra 5 filtrada, debido a que en este caso se eliminan las algas que interfieren en la medida del pH, la composición de especies que representa éste parámetro no varió significativamente durante las jornadas de muestreo, sin embargo en el caso de la entrada al tanque séptico el coeficiente de variación alcanza el valor más alto (12,98%), debido a que la composición del agua residual que llega a ésta unidad es muy variable, puesto que se reciben desechos provenientes de las baterías sanitarias, la cafetería y otras instalaciones,

incluso se encontró que el pH de ésta unidad en algunos muestreo estaba cercano al neutro con valores de 6,3 y en otras ocasiones el agua residual poseía un carácter básico con un pH de 9,4.

El pH en la salida del sistema para el agua residual sin filtrar es de 10,7 unidades de pH, al filtrar la muestra este valor disminuye a 9,87 unidades de pH, sin embargo no se cumple con el decreto 1594/84 que establece que el pH de un vertimiento, cuyo receptor es una fuente de agua, debe encontrarse en el rango de 6-9 unidades de pH.

### 6.3.5 Temperatura °C

Tabla 21. Estadísticas descriptivas de Temperatura.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Cámara de entrada	21,75	1,21	21,4	22,0
Entrada tanque séptico	20,51	2,15	20,0	21,0
Salida tanque séptico	21,05	3,71	20,2	22,0
Salida humedal	20,33	1,47	20,0	20,7
Salida laguna de maduración	21,23	5,93	20,1	23,0

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la anterior tabla se nota que la temperaturas se encuentran 5°C por debajo de las temperaturas optimas para el crecimiento bacteriano ya que se ha encontrado que el rango optimo de temperatura para el desarrollo de la comunidad bacteriana está entre los 25 y 40°C (Metcalf y Eddy, 1996), sin embargo a estas temperaturas pueden desarrollarse algunas bacterias mesófilas con velocidades de crecimiento menores, mantener la temperatura optima de crecimiento bacterial es importante puesto que estos microorganismos aportan en la descomposición de la materia orgánica y por tanto en el tratamiento del desecho; así también debe considerarse que para las temperaturas más altas la materia orgánica se descompone con una velocidad de degradación mayor y que el oxígeno disminuye a temperaturas altas, promoviendo ambientes anóxicos, beneficiando microorganismos tolerantes a estas condiciones, en este caso las temperaturas están por debajo de las optimas lo que influye directamente en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual.

La temperatura del agua residual originada en los laboratorios de procesos aplicados varía dependiendo del tipo de proceso que se realice, ya que muchos de los procedimientos de la elaboración de productos consisten en aplicar altas temperaturas a éstos; sin embargo las temperaturas tienden a bajar por el tiempo que el agua permanece en la cámara de entrada y por la mezcla de agua residual doméstica que se genera en el tanque séptico.

Teniendo en cuenta lo dispuesto por el decreto 1594 de 1984, se cumple con la norma, puesto que la temperatura del agua en el efluente final del sistema es menor a 40°C, lo que hace que no se cause una afectación al cuerpo receptor. La variación de la temperatura en las diferentes unidades es baja obteniéndose valores de 1,21% en la entrada al sistema, 2,15% en la entrada al tanque séptico, 3,71% en la salida del tanque séptico 1,47% en la salida del humedal y se presenta una variación mayor de 5,93% en la salida de la laguna, ya que el agua está expuesta directamente a los rayos del sol, además se tiene en cuenta que las jornadas de muestreo se realizaron en la mañana, de modo que la temperatura se iba incrementando a medida que los rayos del sol aumentaban su intensidad.

### 6.3.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)

Tabla 22. Estadísticas descriptivas de DQO.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Cámara de entrada	329,5	10,98	277	360
Entrada tanque séptico	281,9	38,70	110	420
Salida tanque séptico	171,8	25,15	130	217
Salida humedal	89,50	31,89	60,0	128
Salida laguna de maduración	172,4	24,68	110	230
Salida laguna de maduración filtrada	98,00	50,36	50,0	160

**Fuente:** Elaboración propia.

Es preciso observar la diferencia que se presenta entre la muestra filtrada y la muestra sin filtrar punto 5, esta diferencia se debe al aporte de POM, de las algas que lógicamente al llevar a cabo el proceso de determinación de la DQO de la muestra sin filtrar se reportan como materia orgánica biodegradable y no biodegradable lo que hace que el valor de DQO tome un valor más alto (172,4 mg/L), además, por las condiciones climáticas presentes en la mayoría de los muestreos, (ver anexo B) es de esperar una alta actividad fotosintética lo que directamente influye en el contenido de materia orgánica de la laguna.

Otro aspecto a considerar es la influencia del desecho que llega directamente a la laguna, desecho cuya composición es desconocida pero de un alto carácter contaminante con una DQO de 360 mg/L y que lógicamente está alterando las condiciones finales del tratamiento, de las características de este desecho se comentara posteriormente para el análisis más detallado de esta situación, en ese sentido surge la necesidad de controlar la presencia de este desecho en la laguna, de ser así se esperaría una mayor eficiencia en el tratamiento.

La variación de los datos se ve afectada por las diferentes situaciones presentadas en las instalaciones de la facultad, por ejemplo en el caso de la muestra de la laguna filtrada se tiene una variación del 50,36%, debido a que se presentó el vertimiento del desecho desconocido mencionado anteriormente, sin



embargo en la cámara de entrada la variación es de 10,98% mostrando que las características del agua residual varían poco en cada muestreo. Los mayores valores de DQO se presentan en la entrada al tanque séptico con 420mg/L, debido a que corresponde a agua residual cruda sin ningún pre tratamiento.

Es importante también destacar que durante una de las jornadas de muestreo se presentó un vertimiento a la laguna del cual no se tenía información y por sus características visualmente contaminantes se procedió tomar una muestra puntual para después realizar la respectiva medición de los parámetros de DQO y pH, obteniéndose valores de 360mg/L DQO y 8,6 unidades de pH; es probable que el vertimiento deteriore la calidad del agua en la laguna ya que al realizar la prueba de DQO a la muestra de agua residual de la laguna sin filtrar y filtrada la diferencia es menor con relación a la diferencia que se presentó para los muestreos que se realizaron y en los cuales no hubo presencia de vertimiento por esta conexión.

### 6.3.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días (DBO<sub>5</sub>). (mg/L)

Tabla 23. Estadísticas descriptivas de DBO<sub>5</sub>.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	<i>Cv</i>	Mín.	Máx.
Cámara de entrada	176,0	15,38	145	205
Entrada tanque séptico	187,0	47,38	79,0	293
Salida tanque séptico	82,00	36,95	51,0	108
Salida humedal	16,00	16,94	12,0	18,0
Salida laguna de maduración	29,14	31,91	18,0	45,0
Salida laguna de maduración filtrada	16,00	44,19	9,00	25,0

**Fuente:** Elaboración propia.

Se presentan incrementos de la DBO<sub>5</sub> cuando el agua entra al tanque séptico, pasando de 176 mg/L en la cámara de entrada a 187 mg/L en la entrada del tanque séptico, en donde se produce la mezcla de aguas residuales industriales y domésticas, la materia orgánica se degrada por la acción de las bacterias y microorganismos generalmente anaerobios que se desarrollan gracias a las condiciones que ofrece el tanque séptico; el contenido restante de materia orgánica soluble que no se alcanza a degradar en el tanque séptico, se remueve en el humedal de flujo subsuperficial por la acción de microorganismos que se encuentran adheridos a las raíces, tallos de las plantas y al medio de soporte y la materia orgánica que se encuentra suspendida se remueve por procesos de filtración, floculación y sedimentación debido a la configuración del humedal (Rodríguez, 2003), la combinación de estos procesos permite que se remueva una considerable cantidad de materia orgánica en esta unidad de tratamiento, pero estos valores de DBO<sub>5</sub> se incrementan de nuevo en la laguna de maduración hasta obtener una concentración promedio de 29,14 mg/L de DBO<sub>5</sub>.

El valor de la DBO<sub>5</sub> aumenta en la salida de la laguna de maduración, debido a la aportes generados por las algas, ya que al realizar la prueba da DBO<sub>5</sub> las

muestras se colocan en un ambiente oscuro, situación que hace que las algas mueran, incrementándose el contenido de materia orgánica, elevando los valores de DBO<sub>5</sub>, por esta razón se realizó la determinación de la DBO<sub>5</sub> filtrando la muestra para eliminar en gran parte las algas (Ramalho, 1996), obteniéndose concentraciones de 16mg/L, valor menor comparado con la concentración de la muestra sin filtrar, de modo que se puede comprobar que la DBO<sub>5</sub> en la laguna de maduración se mantiene constante debido a que el objetivo de estas unidades es la eliminación de patógenos, por estas razones se ubican al final del sistema de tratamiento.

Se presenta una variación de 47,38%, dicha variación es mayor con respecto a los demás puntos de monitoreo, esto se debe a que el tanque séptico recibe agua residual sin tratar, además su composición varía porque en alguno muestreos se recibió agua residual proveniente de los laboratorios, además de la de las baterías sanitarias y demás instalaciones. La menor variación se presenta en la cámara de entrada con un valor de 15,38%, mostrando que la composición del agua residual proveniente de los laboratorios no varía de forma significativa.

## 6.4 PARÁMETROS FISICO-QUIMICOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES

A continuación se presentan los resultados para evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, tal como está construida la infraestructura. Los puntos de muestreo corresponden a los indicados en la tabla 5 de la sección de metodología.

### 6.4.1 Sólidos Totales (mg/L)

Tabla 24. Estadísticas descriptivas de Sólidos Totales (ST).

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	517,3	8,520	472	560
Entrada filtro percolador	297,3	64,10	116	496
Entrada cámara inspección	157,3	47,59	72,0	212
Salida tanque de aireación	78,67	72,68	16,0	128

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados encontrados para los sólidos totales muestran que la cámara de entrada al sistema recibe una concentración alta de este parámetro con valores promedio de 517,3mg/L y hasta valores máximos de 560mg/L, para este punto el coeficiente de variación es menor con respecto a los demás (8,520%), por lo que se define que no hay una dispersión muy notoria en los datos, a pesar de obtener valores altos en la concentración de dicho parámetro; sin embargo se puede afirmar que la concentración de ST se ve afectada por aportes externos, puesto que la procedencia del desecho líquido no genera una cantidad representativa de

sólidos, los aportes externos están relacionados con el diseño de las tapas y los alrededores de las estructuras

Es importante resaltar que por las condiciones actuales de la planta de tratamiento industrial, en cuanto a los sentidos de flujo y la posible alteración producida en los mismos ha hecho que la remoción de este parámetro se afecte, ya que se infiere que los sentidos de flujo así dispuestos limitan el tratamiento a retener sólidos con altos tiempos de retención entre las unidades y aplicando filtros físicos en el proceso, la falta de capacitación de las personas que se han hecho cargo del sistema a llevado a que los lechos de secado funcionen como un filtro físico, ya que el agua residual ingresa a éstos como parte del tratamiento, tal como se muestra en la figura 3.

#### 6.4.2 Sólidos Suspendidos Totales (mg/L).

Tabla 25. Estadísticas descriptivas de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máy.
Entrada Pozo de bombeo	261	77,62	119	493
Entrada filtro percolador	94,0	45,67	55,0	140
Entrada cámara inspección	71,7	48,97	55,0	112
Salida tanque de aireación	11,0	59,54	4,00	17,0

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la reducción de los SST, a medida que el agua pasa por cada una de las unidades de tratamiento del sistema industrial, remoción de los sólidos suspendidos totales es importante alcanzándose valores de remoción de 95,8% con respecto a concentración, a pesar de que en la cámara de entrada puede llegar agua residual con 493mg/L de SST se observa que el máximo valor de efluente del sistema es de 17mg/L de SST.

A pesar de que el agua residual contiene un alto valor promedio de 261mg/L de sólidos en suspensión en la entrada al sistema de tratamiento, se alcanza cerca de un 64% de remoción en términos de concentración, en el tratamiento preliminar (entre la entrada al sistema y el tanque homogeneizador), gran parte de estos sólidos quedan retenidos en la reja y en la trampa de grasas, otros pueden sedimentar en el tanque homogeneizador ya que se observa que el volumen es grande (3,8m<sup>3</sup>) y gran parte del agua residual se estanca por varios días en esta unidad; de esta manera a medida que se avanza en el tratamiento se reduce el contenido de este parámetro alcanzándose concentraciones permisibles antes de que se realice la mezcla de el agua residual industrial tratada y el agua residual domestica cruda, por esta razón es posible pensar que el efluente del sistema industrial podría llevarse directamente a la entrada de la laguna de maduración, puesto que las concentraciones promedio de sólidos suspendidos son bajos

(11,0mg/L), incluso si se tomaran los valores máximos (17mg/L), la calidad del agua de la laguna de maduración no se afectaría de manera significativa.

### 6.4.3 Sólidos Disueltos Totales (mg/L)

Tabla 26. Estadísticas descriptivas de Sólidos Disueltos Totales (SDT).

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	256,3	66,87	67,0	401
Entrada filtro percolador	203,3	89,73	61,0	409
Entrada cámara inspección	85,67	78,23	24,0	157
Salida tanque de aireación	67,67	74,83	12,0	111

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los sólidos disueltos totales es a disminuir igual que los sólidos suspendidos totales, se tienen valores promedio de entrada al sistema de 256,3mg/L SDT y 67,67mg/L de SDT en la salida del sistema industrial; en términos de remoción por concentración se tiene que se remueve 73,6% de éste parámetro.

La remoción de SDT en la etapa preliminar del tratamiento se ve afectada por la presencia de algas, debido a que durante la época de las jornadas de muestreo se realizo recirculación desde la laguna hasta la entrada del sistema, además de los largos periodos que permanece el agua en el tanque homogeneizador y la exposición a los rayos solares permiten que se desarrollen este tipo de organismos.

Los valores obtenidos en cada jornada de muestreo tienen una variación significativa puesto que los coeficientes de variación para cada uno de los puntos de muestreo son mayores al 50%, esto se debe a que en cada practica de laboratorio se utilizan diferentes reactivos químicos y material, de modo que la concentración de los iones o moléculas puede variar dependiendo del proceso que se lleve a cabo en el sitio de producción.

### 6.4.4 pH

Tabla 27. Estadísticas descriptivas de pH.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	6,49	16,0	5,5	7,60
Entrada filtro percolador	8,39	25,9	6,8	10,9
Entrada cámara inspección	8,98	18,7	7,6	10,9
Salida tanque de aireación	9,03	2,30	8,8	9,20

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que este parámetro en el sistema de tratamiento de aguas agroindustriales se va amentando de una unidad a otra. Iniciando con un pH de 6,49 en la entrada del sistema y alcanza un máximo valor de 9,03 en el tanque de aireación, sin embargo en esta unidad se presenta la menor variación de pH (2,30%). De acuerdo a la literatura se tiene que para sistemas de lodos activados se debe conservar un rango de pH para que el sistema funcione de manera adecuada, de modo que las bacterias que favorecen el tratamiento del agua residual puedan sobrevivir el pH debe encontrarse en un rango de 5,0 -10,0 unidades, sin embargo el rango óptimo se encuentra entre 6,5 a 8,5 unidades de pH (Torrescano, 2009); sin embargo a pH entre 5 y 6 se pueden además originar organismos filamentosos lo cuales se ven favorecidos por valores de pH bajos (Reyes, 2009), de igual forma para valores de pH altos se produce la precipitación de los nutrientes como el fósforo, de modo que no estará disponible para los microorganismos afectando el tratamiento (Torrescano, 2009).

Con respecto a lo anterior se observa que el pH en el tanque de aireación esta en el rango donde las bacterias pueden sobrevivir, a pH de 9,03 no se estaría favoreciendo el desarrollo de organismos filamentosos, sin embargo se puede estar presentar la precipitación de nutrientes importantes en el desarrollo de los microorganismos degradadores de materia orgánica.

Teniendo en cuenta que se estaba realizando recirculación desde la laguna hasta la cámara de entrada de este sistema, el pH se ve afectado por la acción de las algas provenientes de la laguna de maduración; además de que se puede haber desarrollado este tipo de microorganismos en el tanque homogeneizador ya a que gran parte del agua residual se queda estancada en esta unidad, se ha encontrado que durante las horas de máximo brillo solar las algas realizan su mayor actividad fotosintética, fase durante la cual las algas aportan oxígeno al agua residual y se presenta el consumo de  $\text{CO}_2$ , conversión de los iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en  $\text{OH}^-$  y el incremento del pH; por otra parte durante la fase de respiración se da la producción de  $\text{CO}_2$ , conversión de iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) a  $\text{H}^+$ , y se presenta el descenso de pH. En algunos casos durante la mayor actividad fotosintética se pueden alcanzar valores de pH mayores o iguales a 9 unidades; de acuerdo a lo anterior se puede inferir que el ascenso de pH esta directamente afectado por la acción de las algas (Von Sperling, 2007).

La disminución de pH en el tanque séptico se presenta por la mezcla de aguas residuales domésticas y agroindustriales.

El pH está por fuera del rango óptimo para el crecimiento bacterial, de acuerdo a lo anterior la presencia, diversidad y actividad microbiana es menor a pesar de que pueden encontrarse bacterias tolerantes ya que no se tiene pH por debajo de 4,0 al que no toleran (Metcalf y Eddy, 1996).

### 6.4.5 Temperatura °C

Tabla 28. Estadísticas descriptivas de Temperatura.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	22,0	0,26	22	22,1
Entrada filtro percolador	21,1	5,45	20	22,3
Entrada cámara inspección	20,2	5,15	19	20,5
Salida tanque de aireación	20,0	5,00	19	21,0

**Fuente:** Elaboración propia.

La temperatura es un parámetro de gran importancia para el metabolismo microbiano, puesto que afecta las tasas de conversión de la materia orgánica (Von Sperling, 2012), y el crecimiento de microorganismos que ayudan a dicho proceso de tratamiento.

Según la tabla número 28, se observa que la temperatura en la entrada al sistema es mayor (22,0 °C), a la de las unidades posteriores; la temperatura en la entrada del sistema puede estar influida por el proceso desarrollado en las prácticas de laboratorio, ya que durante estas prácticas se desarrollan procesos de escaldado con temperaturas de 50°C aproximadamente y en algunos casos con temperaturas mayores a los 50 °C, dependiendo de la práctica, las temperaturas bajan por la adición de agua fría, durante el lavado de los diferentes equipos y materiales.

En los casos anteriores se presenta una temperatura más cercana a la óptima (25°C a 40 °C) (Metcalf y Eddy, 1996) para el crecimiento de microorganismos que intervienen en la degradación de materia orgánica. Sin embargo en las demás unidades se presenta la temperatura límite para el crecimiento de microorganismos mesófilos, de modo que se reduce la actividad bacteriana y la eficiencia de remoción de materia orgánica mediante este mecanismo.

La variación de temperatura del 5% en la salida del tanque de aireación, puede afectar el tratamiento del agua residual puesto que se ha encontrado que durante las caídas de temperatura se disminuye la actividad microbiana (Reyes, 2009).

Además de acuerdo al decreto 1594/84, si la salida del tanque de aireación correspondiera a la salida del sistema, se cumple con la norma, puesto que ésta exige que la temperatura de un vertimiento a un cuerpo de agua sea menor a 40°C y en este caso se tiene una temperatura promedio de 20°C e incluso en el caso que se presente la temperatura máxima (21°C) también se cumpliría con lo estipulado en dicho decreto.

#### 6.4.6 Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)

Tabla 29. Estadísticas descriptivas de DQO.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	571,0	42,29	330	813
Entrada filtro percolador	209,3	26,69	160	270
Entrada cámara inspección	262,3	40,17	150	359
Salida tanque de aireación	86,67	13,32	80,0	100

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos para la DQO son altos (571,0mg/L en promedio), si se considera la composición del agua residual proveniente de los laboratorios, estos valores se ven altamente afectados por el aporte de materia orgánica del agua residual proveniente de las baterías sanitarias ubicadas en los laboratorios puesto que se encontraron valores máximos de hasta 813 mg/L DQO.

Según las estadísticas descriptivas, es notorio que a pesar que al sistema lleguen concentraciones de DQO en promedio de 571mg/L, se presenta una reducción importante, puesto que en la salida del tanque de aireación se encontraron concentraciones promedio de 86,67mg/L DQO, incluso con valores máximos en la entrada de 813mg/L DQO, en la salida del tanque de aireación se presentan valores máximos de 100mg/L DQO, mostrando que el sistema realiza un tratamiento eficiente, a pesar de que se haya modificado los sentidos de flujo.

#### 6.4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días DBO<sub>5</sub> (mg/L)

Tabla 30. Estadísticas descriptivas de DBO<sub>5</sub>.

Puntos de muestreo	$\bar{X}$	$Cv$	Mín.	Máx.
Entrada Pozo de bombeo	382,3	40,59	210	511
Entrada filtro percolador	93,67	56,36	38,0	143
Entrada cámara inspección	46,67	53,80	72,0	212
Salida tanque de aireación	8,270	26,48	5,80	10,0

Fuente: Elaboración propia.

Se nota una importante reducción entre el punto 1 y 2, pasando de una concentración promedio de 382,3mg/L DBO<sub>5</sub> a 93,67mg/L DBO<sub>5</sub> en promedio, esto puede atribuirse a que durante el periodo de muestreo se estaba realizando recirculación desde la laguna y se hicieron aportes de algas al sistema, además de las algas que pueden haberse desarrollado en el tanque homogeneizador debido a que esta unidad retiene agua durante periodos de tiempo largos y está expuesta directamente a la luz solar, puede llegar a comportarse como una laguna de estabilización; la remoción de materia orgánica disminuye también después del

filtro percolador ya que en esta unidad se desarrolla una serie de microorganismos que utilizan la materia orgánica como alimento, sin embargo la remoción es menor con respecto a los 2 primeros puntos puesto que se pasa de 93,67mg/L DBO<sub>5</sub> a 46,67mg/L DBO<sub>5</sub>, porque puede haberse dado el proceso de desprendimiento de la biomasa por la acción de lavado del agua residual.

La alta variación que se presenta en la salida del tanque homogeneizador (56,36%) se debe a que durante algunas jornadas de muestreo se realizó recirculación a la entrada del sistema desde la laguna de maduración; se nota que la remoción de materia orgánica es importante si se tienen en cuenta las concentraciones promedio, puesto que el agua residual entra con una concentración de 382,3 mg/L DBO<sub>5</sub> y se tiene una concentración de salida del sistema de lodos activados de 8,27mg/L DBO<sub>5</sub>, incluso en circunstancias donde el se presenta el máximo valor en la entrada de 511 mg/L DBO<sub>5</sub>, el valor máximo de la salida es de 10mg/L DBO<sub>5</sub>, haciendo notoria la disminución de la materia orgánica durante el tratamiento y a pesar de los cambios que se han hecho en el sistema.

## 6.5 CARGAS CONTAMINANTES Y PORCENTAJES DE REMOCIÓN

### 6.5.1 Sistema Tanque séptico – Humedal – Laguna

Se realiza la determinación del porcentaje de remoción o eficiencia de remoción con base en las cargas contaminantes (kg/día), mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remocion} = \frac{(Q_e \times C_e) - (Q_s \times C_s)}{(Q_e \times C_e)} \times 100$$

Donde:

- Q<sub>e</sub>: caudal de entrada al tanque séptico (L/día),
- Q<sub>s</sub>: caudal de salida de la laguna de maduración (L/día)
- C<sub>e</sub>: concentración de entrada al tanque séptico (Kg/L)
- C<sub>s</sub>: concentración de salida de la laguna de maduración (Kg/L)

La anterior ecuación se emplea para determinar los porcentajes de remoción de DQO, DBO<sub>5</sub>, ST, SST y SDT, los valores del caudal de entrada es de 0,19L/s y el de la salida de la laguna de maduración es de 0,34L/s, las concentraciones varían de acuerdo al parámetro.

- Caudal de entrada:

$$Q_e = 0,19 \frac{L}{s} \times \frac{86400s}{1día} \rightarrow Q_e = 16416L/día$$



- Caudal de salida:

$$Q_s = 0,34 \frac{L}{s} \times \frac{86400s}{1\text{día}} \rightarrow Q_e = \frac{29376L}{\text{día}}$$

Se realiza el cálculo para pasar las concentraciones de mg/L a Kg/L dividiendo la concentración entre  $1 \times 10^6$ , además se realiza el cálculo de la carga contaminante así:

$$\text{Carga contaminante} = \text{Caudal} \times \text{Concentración}$$

Los valores de concentración y carga contaminante correspondiente a cada parámetro se muestran en la tabla 31.

Tabla 31. Cargas contaminantes

Parámetro	Concentración Kg/L		Carga contaminante Kg/día	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
ST	$3,40 \times 10^{-4}$	$1,58 \times 10^{-4}$	5,58	4,64
SST	$1,21 \times 10^{-4}$	$6,01 \times 10^{-5}$	1,99	1,77
SDT	$2,19 \times 10^{-4}$	$9,81 \times 10^{-5}$	3,59	2,88
DQO	$2,82 \times 10^{-4}$	$1,72 \times 10^{-4}$	4,63	5,05
DBO <sub>5</sub>	$1,87 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-5}$	3,07	0,85
DQO (muestra filtrada)	--	$9,80 \times 10^{-5}$	--	2,88
DBO <sub>5</sub> (muestra filtrada)	--	$1,60 \times 10^{-5}$	--	0,47

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior la concentración de entrada corresponde a las concentraciones medidas en la entrada del tanque séptico y las concentraciones de salida son las que se midieron en la salida de la laguna de maduración, de igual forma para las cargas contaminantes. Se aclara que la muestra se filtró solo para la salida de la laguna. Los porcentajes de remoción calculados de acuerdo a las anteriores cargas contaminantes se muestran en la tabla 32.

Tabla 32. Porcentajes de remoción Sistema Tanque séptico - Humedal - Laguna.

Parámetro físico químico	% de remoción carga(Kg/día)
ST	16,68
SST	10,98
SDT	19,86
DQO	-9,430
DBO <sub>5</sub>	72,11
DQO (muestra filtrada)	37,79
DBO <sub>5</sub> (muestra filtrada)	84,69

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede notar que, al entrar el agua en el tanque séptico se altera la calidad del agua residual puesto que se incrementan los valores de los ST, SST, SDT, DQO y DBO<sub>5</sub>, debido a que en este punto se presentó una mezcla de aguas residuales industriales y domésticas, los parámetros se incrementan por los aportes de la sede administrativa, antes de la mezcla no se pudo realizar la caracterización puesto que las redes de alcantarillado no lo permiten. De esta forma se presenta un gran aporte de contaminación al agua proveniente de los laboratorios de alimentos.

En cuanto a los porcentajes de remoción, se puede apreciar que en el caso del la DBO<sub>5</sub> el valor de 72,11% está cerca del valor que reglamenta el decreto 1594/84, puesto que en éste se exige que se haga una remoción del 80% en carga, sin embargo para la DQO la remoción es baja obteniéndose una remoción del -9,43%, el valor negativo es producto de la presencia de algas puesto que en la determinación de la DQO las algas se reportan como materia orgánica biodegradable mientras que en la DBO<sub>5</sub> no se reportan como materia orgánica, además del efecto que tiene el vertimiento adicional sobre la concentración adicional en la laguna y las variaciones del caudal de salida puesto que éste es mayor con respecto al de la entrada del tanque séptico, el efecto de las algas se puede corroborar ya que se puede observar que la remoción aumenta cuando se hace el cálculo para la muestra filtrada, obteniéndose valores de remoción para DBO<sub>5</sub> de 84,69% y 37,79% de remoción de DQO, de acuerdo a lo anterior es muy notoria la interferencia que ejercen las algas y demás parámetros mencionados sobre la determinación de los parámetros mencionados, de igual forma dicha interferencia se nota en los porcentajes de remoción de SST que es de 10,98%, en este caso no se cumple con la norma, ya que ésta exige que se remueva más del 50% de SST, a diferencia de las pruebas de DBO<sub>5</sub> y DQO, para los SST, SDT y ST no es posible eliminar los efectos que causan las algas en la determinaciones de estos parámetros, por esta razón se encuentran valores de 16,68% y 19,86% para ST y SDT respectivamente.

De acuerdo a lo anterior se puede inferir que el sistema es eficiente, a pesar de que no cuenta con un tratamiento preliminar y la presencia de algas que alteran los resultados.

#### **6.5.1.1 Porcentajes de remoción por unidades**

Debido a que no fue posible tomar datos de caudal a la salida del tanque séptico y entrada del humedal, se asumió que por el principio de continuidad el caudal que entra al tanque séptico es el mismo caudal que sale de dicha unidad, además la salida del tanque séptico corresponde también a la entrada del humedal; se realiza la determinación del porcentaje de remoción por cargas, empleando la ecuación de la sección 6.5.1. Los valores empleados de caudal son:

- Qentrada al tanque séptico: 16416L/día
- Qsalida del tanque séptico= Qentrada al humedal: 16416L/día
- Qsalida humedal= Qentrada laguna de maduración: 4320L/día
- Qsalida de la laguna de maduración: 29376L/día

En la tabla 33 se presenta las cargas contaminantes para las unidades del sistema de tratamiento doméstico.

Tabla 33. Cargas contaminantes: tanque séptico- humedal- laguna de maduración.

<b>Parámetro físico químico</b>	<b>Carga contaminante entrada tanque séptico Kg/día</b>	<b>Carga contaminante salida tanque séptico=entrada humedal Kg/día</b>	<b>Carga contaminante salida humedal= entrada laguna de maduración Kg/día</b>	<b>Carga contaminante salida laguna maduración Kg/día</b>
ST	5,58	3,00	0,75	4,64
SST	1,99	0,24	0,01	1,77
SDT	3,59	2,77	0,74	2,88
DQO	4,63	2,82	0,39	5,05
DBO <sub>5</sub>	3,07	1,35	0,07	0,85
DQO filtrada	--	--	--	2,88
DBO <sub>5</sub> filtrada	--	--	--	0,47

La tabla 34 presenta los porcentajes de remoción para las diferentes unidades de acuerdo a cada parámetro físico químico.

Tabla 34. Porcentajes de remoción por unidades.

<b>Parámetro físico químico</b>	<b>% remoción tanque séptico</b>	<b>% remoción humedal de flujo subsuperficial</b>	<b>% remoción laguna</b>
ST	46,23	75,0	-518,67
SST	87,94	95,8	-17600
SDT	22,84	73,3	-289,19
DQO	39,10	86,2	-1194,9
DBO <sub>5</sub>	56,02	94,8	-1114,3
DQO filtrada	---	---	-638,46
DBO <sub>5</sub> filtrada	---	---	-571,43

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:** la DQO y DBO<sub>5</sub> en la laguna de maduración se midieron sobre muestra filtrada para eliminar interferencias por algas, para la DQO filtrada de la muestra 6 se contaron con 6 mediciones.

El tanque séptico presenta porcentajes de remoción importantes puesto que se han encontrado que en esta unidad se elimina cerca del 80% de sólidos por sedimentación (OPS/CEPIS, 2005). En este caso se presentan valores de 46,23% de remoción de sólidos totales y 87,94% de sólidos suspendidos totales, sin embargo solo se remueve el 22,84% de sólidos disueltos totales. Para los demás parámetros se obtienen resultados significativos a pesar de que están lejanos según Galbán (2009), puesto que se mencionan que el porcentaje de remoción en estas unidades esta cerca del 90% para la DBO<sub>5</sub> y en este caso se presenta un porcentaje de remoción del 56,02%, lo anterior puede atribuirse a que el sistema carece de tratamiento preliminar lo que hace que su eficiencia sea menor con respecto a otros sistemas que poseen dicho tratamiento.

Para el caso del humedal de flujo subsuperficial, se presentan valores aceptables de remoción puesto que para los sólidos totales, suspendidos y disueltos se presentan remociones de más del 50%, de igual forma para los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub>. Comportándose de forma ideal, puesto que se obtienen reducciones significativas de contaminantes, sin embargo la calidad del agua tratada se vuelve a alterar en la laguna de maduración.

Los porcentajes de remoción en la laguna de maduración son irreales puesto que se presentan valores negativos para todos los parámetros, debido a la interferencia de las algas de la que ya se mencionó anteriormente; además se debe tener en cuenta que su objetivo principal es la eliminación de organismos patógenos y no la remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO (Von Sperling, 2012), se debe tener en cuenta que el caudal que sale de laguna se ve afectado por el aporte de aguas lluvias por conexiones, por lluvias directas sobre ésta unidad, aportes adicionales de desechos que llega por una tubería diferente a la salida del humedal y también el caudal que entra a la laguna de maduración es menor con respecto al caudal de salida.

### **6.5.2 Sistema de tratamiento industrial**

Para la determinación del porcentaje de remoción por cargas del sistema, se asume que se presenta continuidad, de modo que el caudal de entrada al sistema es igual al caudal de salida del tanque de aireación. Se sigue el mismo procedimiento de la sección anterior para el cálculo de las cargas contaminantes y el porcentaje de remoción, la información anterior se representan en la tabla 34.

Se emplea el caudal equivalente:

$$Q_{equivalente} = 0,25 \frac{L}{s} \times \frac{86400s}{1 \text{ día}} \rightarrow Q_{equivalente} = 21600L/día$$

Tabla 35. Cargas contaminantes y porcentajes de remoción Sistema de tratamiento industrial

Parámetro físico químico	Carga contaminante entrada	Carga contaminante de salida	% remoción
ST	11,2	1,70	84,8
SST	5,64	0,24	95,7
SDT	5,54	1,46	73,6
DQO	12,3	1,87	84,8
DBO <sub>5</sub>	8,26	0,18	97,8

**Fuente:** Elaboración propia.

Los porcentajes de remoción obtenidos son razonables, a pesar de que el sistema no esté funcionando de la manera adecuada, asumiendo que el sistema cumple con el principio de continuidad, el sistema cumple con el decreto 1594 de 1984, puesto que se tiene remociones de 95% para sólidos suspendidos totales y 97,8% de remoción de DBO<sub>5</sub>.

## 6.6. TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRAULICO TEORICO Y CAPACIDADES DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

### 6.6.1 Tanque séptico

#### 6.6.1.1 Tiempo de retención hidráulico teórico:

$$TRH = \frac{V_{TS}}{Q_{TS}}$$

En la expresión anterior:

- $V_{TS}$ : Volumen del tanque séptico.
- $Q_{TS}$ : Caudal del tanque séptico en m<sup>3</sup>/s

$$Q_{TS} = \frac{0,19L}{s} \times \frac{60s}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1h} \times \frac{11 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000L} \rightarrow Q_{TS} = 7,52 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Dimensiones actuales del tanque séptico:

- Ancho= 2,72 m
- Largo= 5,70 m
- Profundidad del agua= 1,9 m

- Tiempo de retención hidráulico:

$$TRH = \frac{29,46m^3}{7,52 m^3/dia} \rightarrow TRH = 3,92días$$

El tiempo de retención hidráulico teórico es alto de acuerdo a recomendado por la literatura, por ejemplo: en la metodología propuesta por Mara que se describirá más adelante el tiempo de retención mínimo es de 5 horas, la Norma Técnica I.S 020 para tanques sépticos recomienda un tiempo de retención hidráulico mínimo de 6 horas, la norma nacional RAS en el apartado E, emplea la metodología de cálculo para tiempos de retención de 12 a 24 horas.

En este caso se estaría garantizando la condición mínima para que las bacterias anaerobias descompongan la materia orgánica presente; sin embargo tiempos de retención altos pueden alterar la dinámica del tratamiento, puesto que a pesar de generar la sedimentación de partículas coloidales se ha encontrado que solo el 50% del lodo sedimentado se digiere, el restante se deposita en el fondo y se acumula de modo que se requiere la extracción de este por medios de bombeo (EPA, 2000)

#### 6.6.1.2 Capacidad del tanque séptico

Se cuenta con un volumen útil de 29,458m<sup>3</sup>

Para ello se emplearán las recomendaciones del RAS 2000 en su título E y la metodología sugerida por Mara (1996) que es la que se sigue en la normatividad brasilera.

Teniendo en cuenta que ésta unidad se comporta como un tanque séptico de baffles con secciones típicas, con una zona de natas y espumas, la zona de sedimentación y una zona de digestión y almacenamiento de lodos.

El tiempo de detención requerido para la zona de sedimentación este tipo de tanques se calcula con la expresión propuesta por Mara, (1996)

$$T_s = 1,5 - 0,3 \log Q$$

Ts es el tiempo de retención en la zona de sedimentación en días, de acuerdo con esta metodología el valor mínimo de este parámetro para un funcionamiento razonable del tanque es de 0,21 días (5horas)

Q es el caudal promedio en L/día.

De acuerdo con el mismo autor, el volumen de la zona de sedimentación se calcula con la siguiente expresión

$$V_s = \frac{Q \times T_s}{1000}$$

$V_s$  es el volumen de sedimentación en  $m^3$

Dado que el afluente al tanque séptico se compone de una mezcla de aguas residuales domésticas e industriales, para el cálculo del volumen de lodos frescos, se puede emplear la metodología sugerida en Metcalf y Eddy (2001), como se muestra a continuación:

$$Q_L = \frac{K_1 C Q}{10000 C_1}$$

$Q_L$  es el caudal de lodos frescos en L/día

$K_1$  es la remoción de SST en decimales

$C$  es la concentración de sólidos suspendidos en el afluente en mg/L

$Q$  es el caudal medio afluente en L/día

$C_1$  es el porcentaje de sólidos secos presente en el lodo (habitualmente 5%)

El volumen de lodos frescos almacenado durante un periodo de un año (periodo de limpieza y mantenimiento del tanque) se calcula mediante la expresión:

$$V_L = \frac{365 Q_L}{1000}$$

$V_L$  es el volumen de lodos frescos que se almacenarían durante un año en  $m^3$

Sin embargo, por acción de los procesos de digestión mediados por bacterias anaeróbicas, durante el periodo de almacenamiento dichos lodos reducen su volumen por consumo, licuación, transformación y degradación aproximadamente a un 50% de su volumen original (Mara, 1996), siendo este el volumen efectivo de lodos que se expulsa durante una operación de limpieza completa del tanque, de este modo,

$$Volumen\ efectivo\ de\ lodos\ almacenado\ en\ el\ tanque = 0,50 V_L$$

Por su parte, el volumen de natas y espumas se puede calcular como un porcentaje del volumen de lodos

$$V_{NE} = 0,4 \times Volumen\ efectivo\ de\ lodos$$

$V_{NE}$  es el volumen disponible para almacenar natas y espumas en  $m^3$

El volumen total requerido para un funcionamiento adecuado de este tanque bajo condiciones de operación es:

$$V_{NE} = \text{Volumen útil del sedimentador de compartimientos} = V_{sed} + V_{efectivlodos} + V_{NE}$$

Aplicando la metodología indicada se procedió a calcular la capacidad del tanque con las dimensiones que actualmente tiene, los valores se presentan en la tabla 36.

Tabla 36. Volumen útil requerido en el sedimentador para diversos caudales y retiro anual de lodos.

Q (L/día)	T <sub>s</sub> (días)	V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	V lodos (m <sup>3</sup> )	V <sub>NE</sub> (m <sup>3</sup> )	Vútil requerido (m <sup>3</sup> )
7520	0,337	2,535	2,921	1,168	6,624
15000	0,247	3,707	5,826	2,330	11,86
25000	0,181	4,515	9,709	3,884	18,11
29000	0,161	4,677	11,26	4,505	20,44
31000	0,153	4,730	12,04	4,816	21,59
35000	0,137	4,787	13,59	5,437	23,82
40000	0,119	4,775	15,53	6,214	26,52
45000	0,104	4,682	17,48	6,991	29,15
45560	0,102	4,666	17,70	7,078	29,44

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente se puede notar que el tanque está trabajando con el 16,50% de su capacidad, para la situación en que se presente el retiro de lodos cada año el tanque puede recibir un caudal de 45,56 m<sup>3</sup>/día.

Para el caso en que el retiro de lodos se de cada 2 años se tienen los resultados que se muestran en la tabla 37.



Tabla 37. Volumen útil requerido en el sedimentador para diversos caudales y retiro de lodos cada 2 años

Q (L/día)	T <sub>s</sub> (días)	V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	V lodos (m <sup>3</sup> )	V <sub>NE</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>útil</sub> (m <sup>3</sup> )
7520	0,337	2,535	11,68	2,336	10,71
9000	0,314	2,823	13,98	2,796	12,61
10000	0,300	3,000	15,53	3,106	13,87
15000	0,247	3,707	23,30	4,660	20,02
16000	0,239	3,820	24,85	4,971	21,22
17000	0,231	3,924	26,41	5,282	22,41
20000	0,209	4,194	31,07	6,214	25,94
23020	0,191	4,405	35,76	7,152	29,44

**Fuente:** Elaboración propia.

Para este caso se tiene que el tanque séptico puede recibir un caudal de 23,02 m<sup>3</sup>/día, bajo estas circunstancias el tanque actualmente estaría operando con el 33,0% de su capacidad. Sin embargo es necesario realizar estudios que corroboren esta información y se puedan tomar decisiones con respecto al caudal de entrada.

## 6.6.2. Humedal de flujo subsuperficial

### 6.6.2.1 Tiempo de retención hidráulico del humedal

capacidad de dicha unidad, y el caudal de salida del humedal puesto que no fue posible realizar aforos directamente sobre la entrada del humedal debido a que se presentan dificultades en el acceso a dicha unidad, por esta razón se tomó un valor promedio entre los caudales mencionados.

$$Q_{Hsalida} = \frac{0,05L}{s} \times \frac{86400 s}{1 dia} \times \frac{1 m^3}{1000L} \rightarrow Q_{Hsalida} = 4,32 m^3 / dia$$

$$Q_H = \frac{4,32 m^3 / dia + 7,52 m^3 / dia}{2} \rightarrow Q_H = 5,92 m^3 / dia$$

Q<sub>H</sub>: Caudal de entrada al humedal en m<sup>3</sup>/s

Dimensiones del humedal:

- Ancho= 14,36 m
- Largo= 25,52 m.
- Profundidad del medio filtrante 0,6m

- Profundidad del agua: 0,4m: P
- Volumen del humedal:

$$V_{HUMEDAL} = A \times L \times P \times n$$

n es la porosidad del medio filtrante: Este valor de se debe a que el material de soporte que posee el humedal, es una mezcla entre tierra cascara de arroz y otros materiales que disminuyen la porosidad notablemente

$$V_{HUMEDAL} = 14,36m \times 25,52m \times 0,4m \times 0,26 = 38,11m^3$$

Promedio caudal de entrada y salida del humedal: 5,92 m<sup>3</sup>/s

$$TRH = \frac{V_{TS}}{Q_H}$$

$$TRH = \frac{38,11m^3}{5,92 m^3 / dia} \rightarrow TRH = 6,44 dia$$

El tiempo de retención hidráulico es ideal para la remoción de contaminantes, puesto que en estudios realizados sobre humedales artificiales plantados con *phragmites Autralis*, el tiempo de retención hidráulico óptimo es de 5 días, el estudio se realizó en una mezcla de agua residual proveniente de baterías sanitarias, jabonosas y de laboratorios (Aguilar *et al.*, 2009).

### 6.6.2.2 Capacidad del humedal

De acuerdo con los resultados obtenidos con respecto a la DBO<sub>5</sub> media de entrada al humedal esta es de 82 mg/L y la DBO<sub>5</sub> media del efluente es de 16mg/L, obteniéndose unos porcentajes de remoción basados en la carga contaminante para DBO<sub>5</sub> y SST de 94,8% y 95,8% respectivamente, de lo cual se puede inferir que el humedal está trabajando de manera óptima en las condiciones evaluadas.

Para determinar la capacidad del humedal se tiene en cuenta la expresión del Manual de Diseño de Humedales construidos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2000 citado por Chaux, 2013), y la temperatura más baja presentada que fue de 18°C.

$$Kt = 1,104 \times 1,06^{T-20}$$

$$Kt = 1,104 \times 1,06^{18-20}$$

$$Kt = 0,982 \text{ días}^{-1}$$

Debido a que el material filtrante es una mezcla de compost, grava, arena y otros materiales, se tiene que la porosidad puede estar entre 0,26 y 0,32; se asume el valor más crítico (porosidad de 0.26) (Chaux,2013), se aplica las expresiones del RAS 2000, título E, sección E3

$$A_s = \frac{Qd \times (\ln C_o - \ln C_e)}{Kt \times D \times n}$$

- $A_s$ =Área superficial media del humedal ( $m^2$ )
- $C_o$ = concentración media de DBO en el afluente al humedal (mg/L)
- $C_e$ = concentración media de DBO en el efluente del humedal (mg/L)
- $Kt$ = constante de primer orden ( $días^{-1}$ )
- $n$ = porosidad (expresada en decimales)
- $D$ = profundidad del agua en el humedal (m)
- $Qd$ = capacidad del humedal ( $m^3/día$ )

Se determina la capacidad del humedal teniendo en cuenta los datos obtenidos en las jornadas de muestreo.

$$Qd = \frac{A_s \times Kt \times D \times n}{(\ln C_o - \ln C_e)}$$

$$Qd = \frac{14,36m \times 25,52m \times 0,982d^{-1} \times 0,40m \times 0,26}{(\ln 82mg/L - \ln 16mg/L)}$$

$$Qd = 22,9 m^3/día$$

Debido a que no fue posible realizar aforos en la salida del tanque séptico, se asumió que el caudal de entrada al tanque séptico es el mismo que entra al humedal, asumiendo que no hay pérdidas por infiltración y se cumple el principio de continuidad de caudales, indicaría que el humedal está trabajando con el 33% de su capacidad, manteniendo las condiciones de remoción mencionadas anteriormente. Si se diera el caso de que entra el mismo caudal que sale del humedal, se encontraría operando con el 19% de su capacidad.

Sin embargo la capacidad del humedal se puede alterar por la forma en que opera la planta de tratamiento, puesto que se está realizando recirculación desde la laguna de maduración a la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales y el agua recirculada posteriormente llega al humedal, de modo que se estaría adicionando algas a esta unidad, las cuales pueden ocasionar problemas de colmatación. Es por esto que se recomienda que los humedales preferiblemente reciban efluentes de tanque sépticos o reactores anaeróbicos (Von Sperling, 2012).

## 7. CONCLUSIONES

1. De acuerdo con las condiciones de operación actuales de la planta de tratamiento de agua residual domestica que posee la Facultad de Ciencias Agropecuarias, las unidades comprendidas por este sistema están trabajando con menos del 50% de su capacidad, lo anterior para condiciones de operación normal (solo agua residual domestica) y para situaciones críticas (agua residual doméstica y agua residual de los laboratorios de procesamiento de alimentos).
2. Se evidenció el aumento de pH en cada una de las unidades que comprenden el sistema de tratamiento de agua residual agroindustrial, posiblemente por los altos tiempos de retención hidráulicos que se tienen en cada una de estas, favoreciendo procesos biológicos como el crecimiento de algas que por efecto fotosintético que estas realizan, siempre se presentará una tendencia a aumentar el pH en horas de alto brillo solar efecto que se presenta y evidencia de él la laguna de maduración.
3. Los sistemas de tratamiento operando de manera alterna suplen la necesidad de tratar las aguas residuales que se generan en las instalaciones de la Facultad, además, se cumple con la normativa ambiental vigente en cuanto a remoción de materia orgánica y sólidos.
4. El estado actual de la PTAR en cuanto a su infraestructura es bueno aun cuando el mantenimiento de algunas de las unidades sea algo complicado debido al peso de las tapas de estas.
5. La configuración en los sentidos de flujo y manejo de los lodos que debe tener la planta de tratamiento de agua residual agroindustrial no es la más adecuada ni la ideal para un sistema de lodos activados ya que se está llevando el agua residual a los lechos de secado lo que de manera directa afecta e interfiere los procesos de remoción.
6. La eficiencia en el tratamiento puede mejorar notablemente si se optimiza la configuración de todo el sistema considerando un solo sistema de tratamiento para todas las aguas residuales que se generan en la Facultad y que permita dar mayor continuidad a los tiempos de operación de la PTAR con el fin de mejorar los procesos de remoción biológica que allí se presentan.
7. La calidad del efluente de la PTAR se ve notablemente deteriorado cuando llega al tanque séptico, por tanto es importante que se considere llevar este efluente directamente a la laguna de maduración, lo que minimizaría costos en la operación y reduciría el caudal a tratar en el sistema de aguas residuales domésticas.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se realice el cambio de tapas para que se facilite la operación de las diferentes unidades de tratamiento, ya que el material en que están fabricadas actualmente hace imposible que sean removidas por una sola persona, se sugiere el uso de materiales más livianos de modo que se evite cualquier accidente por esta causa.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, se sugiere que no se realice recirculación desde la laguna de maduración a la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales agroindustriales, ya que implica costos en la operación de equipos, altera la calidad del agua tratada y además el agua proveniente de la laguna aporta algas al sistema, alterando los procesos normales de tratamiento y afectando directamente algunas unidades de tratamiento, como el filtro percolador en el cual las algas pueden tapan la superficie del filtro de modo que se colmate y se generen olores.
- Teniendo en cuenta que durante el desarrollo de las jornadas de muestreo se midió DQO y pH al vertimiento que descarga en la laguna de maduración y se encontró un valor de 360mg/L de DQO y un pH de 7,5 unidades, alterando la calidad del agua de la laguna se sugiere que estas tuberías se conecten al inicio del sistema para evitar la alteración de la calidad del agua y el funcionamiento de la laguna.
- Durante los periodos que esté en funcionamiento la planta de aguas residuales agroindustriales se recomienda que se realice constantemente la aireación del agua residual del tanque de aireación para favorecer el crecimiento de la comunidad bacteriana y para que el tratamiento sea más eficiente.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la salida del tanque de aireación, se recomienda que el agua residual después de pasar del tanque de aireación se lleve a la laguna de maduración puesto que al entrar en el tanque séptico su calidad se altera, ya que se mezcla el con agua residual doméstica que no posee ningún pre tratamiento.
- Se recomienda que se realicen estudios de acuerdo con la configuración de la planta de tratamiento de aguas agroindustriales, de modo que se pueda mejorar el funcionamiento del sistema en general, ya que fue diseñado como un sistema de lodos activados sin embargo no funciona como tal.
- Considerando que el sistema doméstico tiene capacidad para recibir más agua residual de la que recibe actualmente y la planta de tratamiento

agroindustrial esta sobre diseñada , puede estudiarse la posibilidad de llevarse todas las aguas residuales a la entrada de la planta de tratamiento de agua residual agroindustrial y después pasarla por el sistema doméstico, teniendo en cuenta que se debe colocar un dispositivo de control de caudal a la entrada del humedal y evitar inundaciones o la posible colmatación de dicha unidad.

- La planta de tratamiento de aguas residuales agroindustriales y domésticas es importante ya que sirve como soporte para la academia, en este sentido sería muy interesante que se le preste mayor atención, de modo que pueda convertirse en un escenario para investigación.
- Teniendo presente la problemática global sobre el uso del agua potable, se recomienda que se realicen jornadas de ahorro de agua en los laboratorios de procesos aplicados, ya que durante los periodos de observación se notó desperdicio de este recurso.
- En el tanque séptico se observa material como toallas higiénicas, papel higiénico y entre otros que pueden causar problemas en las unidades de tratamiento posteriores, alterando los procesos de descomposición realizado por las bacterias, es recomendable que se realice algún tipo de campaña para informar a la comunidad universitaria sobre este aspecto.
- Con base en los resultados obtenidos en la determinación de la capacidad del humedal, se podría aumentar el caudal que trata dicha unidad, sin embargo es necesario que se realice un estudio para evaluar el comportamiento hidráulico y el estado de dicha unidad y poder tomar decisiones al respecto.
- Teniendo en cuenta los valores de DQO y pH encontrados en el vertimiento que llega a la laguna de maduración se recomienda realizar un estudio de caracterización de dicho desecho

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABALOS A, MARAÑÓN A, FERNÁNDEZ J. M, AGUILERA I y DESPAIGNE M F. Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 38, núm. 3, 2007
2. AGUILAR M, COLIN A, SANCHEZ E Y ORTIZ M. Tratamiento de aguas residuales en un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de carga orgánica. México, 2009
3. APHA, AWWA and WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid (España): Ediciones Días de Santos S.A., 1992
4. ARANGO A y GARCÉS L. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Producción + Limpia - Vol. 2 No.2, 2007
5. ARANGO O y SANCHES L. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB, facultad de ciencias agropecuarias, vol. 7 No 2, 2009
6. ARENAS D. Adolfo *et al.* "Evaluación de la planta Lemna Minor como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio". En: ACI. Vol. 3 (enero de 2011)
7. CALDERA M, Y. A. eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. Tesis doctoral, Cabimas, 05 febrero de 2009
8. CALDERÓN J y ZAMBRANO A. Saneamiento ambiental. 1982
9. CAMARGO A y ALONSO A "Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático". En: Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Asociación española de ecología terrestre. Mayo de 2007
10. CASTRO N, GARZÓN J y ORTIZ R. Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos, en edificaciones de diferente tipo. Brasil, 2006

11. CHAUX G. Evaluación de desempeño y análisis de capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales de la facultad de ciencias agropecuarias de la universidad del cauca. 2013
12. CINTURIA A. Diagnóstico de alternativas de producción más limpia en una microempresa de producción de derivados lácteos. 2004
13. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS 2000. Títulos D y E. Sistemas de Alcantarillado y tratamiento de aguas residuales; Bogotá
14. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), subdirección financiera, grupo gestión de cobro, tarifas 2012. Disponible en: <http://www.crc.gov.co/files/Normatividad/tarifas-CRC-2012>
15. DECRETO 3930 de 25 Octubre de 2010, por la Presidencia de la República.
16. DELGADILLO O., CAMACHO A, PÉREZ L F Y ANDRADE M. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia 2010
17. EPA. Folleto informativo de sistemas descentralizados, sistemas de tanque séptico para aplicaciones de alto caudal. Washington DC, 2000
18. FERNÁNDEZ M, F J. Efecto de vertidos industriales sobre la eliminación biológica de nutrientes de aguas residuales urbanas. Ciudad real, tesis doctoral, 2004
19. GARCÍA S J y CORZO H A. Depuración con humedales construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Barcelona UPC. 2006
20. GALBÁN L. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. 2009
21. IDEAM. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y aguas subterráneas.
22. LANDETA, M. Diseño de estrategias para mitigar el impacto ambiental negativo causado por los desechos sólidos y líquidos generados en los



procesos de recepción y faenamiento en camales municipales de Carchi, Imbabura y norte de pichincha, 2209

23. LLAGAS C, W A y GUADALUPE G, E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr, ene./junio 2006, vol.9, no.17, p.85-96. ISSN 1561-0888.
24. LONDOÑO C, L A y MARIN V, C. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética, Pereira, 2009
25. MARTINEZ M, D A. Análisis comparativo de criterios de diseño de lagunas de estabilización para ciudades pequeñas y medianas. México, 2003.
26. METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, tomo1, Mc Graw Hill, 1996
27. OPS/CEPIS. Unidad de apoyo para el saneamiento básico del área rural: especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa. Lima, Perú, 2003
28. OPS/CEPIS. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima, 2005
29. PACURUCU, A R. Plan de manejo ambiental para la industria láctea "productos san salvador" Riobamba-Ecuador. 2011
30. RESTREPO G, M. Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. Producción + Limpia - Vol. 1 No. 1, 2006
31. RODRIGUEZ C. Humedales construidos, estado del arte. Ciudad de La Habana, 2003
32. ROMERO J. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Colombia, 1999
33. ROMERO J. Lagunas de estabilización de aguas residuales. Colombia, 2005
34. TCHOBANOGLOUS, G., Burton, F. L., Montsoriu, J. D. D. T., & Fox, I. T. (1998). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill Interamericana.

35. TORRESCANO, J. L. Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. México, 2009
36. Von Sperling, M. Waste Stabilisation Ponds, Volumen 3. IWA publishing, 2007
37. Von Sperling, M. Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales. Principios del tratamiento biológico de aguas residuales, Volumen 1. Primera Edición en español. Pasto (Colombia): Centro de publicaciones Universidad de Nariño, 2012
38. ZAMORA M. Caracterización de los parámetros de calidad del agua desalojada por la empresa de productos lácteos Marco's con el fin de disminuir su contaminación en el Cantón Pillaro, Provincia de Tungurahua. 2011
39. Ficha de seguridad PENTA QUAT. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=bWlzZW5hLmVkdS5jb3xmYWJlcmFyaXphfGd4OjRmY2E3NDI3NDMwMGJiNGY>
40. Ficha de seguridad DEGRATEC. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=bWlzZW5hLmVkdS5jb3xmYWJlcmFyaXphfGd4OmQ5MjA0OTczMjlxYzFIOA>
41. Ficha de seguridad CITROSAN. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=bWlzZW5hLmVkdS5jb3xmYWJlcmFyaXphfGd4OjNkZjJmZWQ2NGI1NmI2Mzk>
42. Ficha de seguridad HIDROXIDO DE SODIO. Disponible en: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hidroxido\\_de\\_sodio.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hidroxido_de_sodio.pdf)
43. Ficha de seguridad TEGO 51. Disponible en: <http://www.sadichemical.com/schede/tego51.pdf>

## **ANEXO 1**

Datos obtenidos durante las jornadas de muestreo

En las siguientes tablas se muestran los parámetros medidos en cada jornada de muestreo, para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Agroindustriales.

Los puntos de muestreo correspondientes a este sistema se presentaron en la tabla 4. Los puntos 5 y 6 corresponden a la entrada del tanque séptico y la salida de la alguna respectivamente, los datos recolectados de los puntos 5 y 6 se emplearon en la evaluación del sistema doméstico.

**Muestreo N° 1. Sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales (P.T.A.R.I.), 21 junio 2013.**

**Tabla A1.1.** Datos de Temperatura P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 10: 45 am	23
	H: 11: 15 am	21,5
	H: 11: 45 am	22
	H: 12: 15 pm	22
2	H: 10: 55 am	23
	H: 11: 25 am	21,5
	H: 11: 55 am	23
	H: 12: 25 pm	21,5
3	H: 11: 00 am	21
	H: 11: 30 am	21
	H: 12: 00 pm	21
	H: 12: 30 pm	21
4	H: 11: 10 am	23
	H: 11: 40 am	21,5
	H: 12: 10 pm	22
	H: 12: 40 pm	22
5	H: 11: 15 am	21
	H: 11: 45 am	20
	H: 12: 15 pm	20
	H: 12: 45 pm	21
6	H: 11: 20 am	21
	H: 11: 50 am	24
	H: 12: 20 pm	25
	H: 12: 50 pm	22

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.2.** Sólidos Totales P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Masa cápsula vacía (g)</b>	<b>Masa capsula + residuo (g)</b>	<b>Sólidos totales (mg/L)</b>
1	54,9994	55,0112	472
2	52,5468	52,5497	116
3	55,7491	55,7495	16
4	47,9601	47,9628	108
5	61,3095	61,3133	152
6	61,5914	61,5942	112

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.3.** Sólidos Suspendidos Totales P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Masa filtro vacío (g)</b>	<b>Masa filtro + residuo (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>
1	0,1083	0,1254	171
2	0,1079	0,1134	55
3	0,1093	0,1097	4
4	0,1089	0,1137	48
5	0,1092	0,1109	17
6	0,1093	0,1125	32

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.4.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	301
2	61
3	12
4	24
5	135
6	80

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.5.** pH P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	7,57
2	10,86
3	10,85
4	8,80
5	8,80
6	11,76

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.6.** DQO P.T.A.R.I.

Punto de muestreo	Volumen de FAS gastado (mL)	DQO (mg/L)
1	5,9	330
2	7,6	160
3	8,4	80
4	5,6	359
5	8,1	110
6	8,1	110
7 (blanco)	9,2	

**Fuente:** Elaboración propia.

$$DQO = \frac{(A - B) \times N_{FAS} \times 8000}{mL \text{ de muestra}}$$

A: mL de FAS usado para el blanco

B: mL de FAS usado para la muestra

$N_{FAS}$ : Normalidad del FAS

Volumen de FAS: 6.1mL  $\rightarrow N_{FAS} = 0,1024$  concentrado

Dilución de 19,5mL a 80mL

$N_{FAS} = 0,02496$  diluido

**Tabla A1.7.** DBO<sub>5</sub> P.T.A.R.I.

Punto de muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	210
2	38
3	10
4	23
5	84
6	33

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.8.** Aforo de caudal de entrada P.T.A.R.I.

<b>Tiempo (s)</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
3,07	5,5	1,79
1,91	8,0	4,19
1,67	7,5	4,49
2,20	7,5	3,41
1,65	6,0	3,64

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.9.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.I.

<b>Pun to</b>	<b>Parámetro</b>							
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>pH</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>ST (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>
1	22,1	3,504	7,57	171	472	301	330	214
2	22,3	--	10,86	55	116	61	160	38
3	20,5	--	10,85	4	16	12	80	10
4	21	--	8,80	48	72	24	359	24
5	20	--	8,80	17	152	135	110	84
6	23	--	11,76	32	112	80	110	33

**Fuente:** Elaboración propia.

**Muestreo N° 2. Sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales  
(P.T.A.R.I), 4 octubre 2013.**

**Tabla A1.10.** Temperatura P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 09: 10 am	22
	H: 09: 15 am	22
	H: 09: 20 am	22
	H: 09: 26 am	22
	H: 09: 36 am	22
2	H: 09: 13 am	20
	H: 09: 17 am	20
	H: 09: 23 am	21
	H: 09: 28 am	21
	H: 09: 39 am	21
3	H: 09: 19 am	19
	H: 09: 42 am	19
	H: 09: 55 am	19
	H: 10: 15 am	19
	H: 10: 28 am	19
4	H: 09: 45 am	19
	H: 10: 08 am	19
	H: 10: 17 am	20
	H: 10: 30 am	20
	H: 10: 58 am	21
5	H: 07: 26 am	19
	H: 07: 59 am	19
	H: 08: 37 am	20
	H: 08: 55 am	20
	H: 09: 48 am	21
	H: 10: 33 am	21
	H: 11: 05 am	21
	H: 11: 38 am	21
	H: 12: 07 am	21



**Continuación tabla A1.10.**

Punto	Hora	Temperatura (°C)
6	H: 07: 30 am	20
	H: 08: 04 am	20
	H: 08: 41 am	20
	H: 09: 55 am	20
	H: 10: 37 am	21
	H: 11: 09 am	21
	H: 11: 43 am	23
	H: 12: 15 am	23
	H: 12: 25 am	23

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.11.** Aforos de caudal P.T.A.R.I.

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
1	4250	1,44	2951,39	2,951	H: 09: 10 am
	5000	2,25	2222,2	2,222	H: 09: 15 am
	4000	1,37	2919,71	2,919	H: 09: 20 am
	4520	1,56	2897,43	2,897	H: 09: 26 am
	5400	2,4	2250	2,25	H: 09: 36 am
5	430	3,59	119,78	0,11978	H: 07: 26 am
	305	2,37	128,69	0,12869	H: 07: 59 am
	309	3,6	85,83	0,08583	H: 08: 37 am
	445	4,64	95,91	0,09591	H: 08: 55 am
	420	4,37	96,11	0,09611	H: 09: 48 am
	245	2,85	85,96	0,08596	H: 10: 33 am
	320	3,05	104,92	0,10492	H: 11: 05 am
	370	4,77	77,57	0,07757	H: 11: 38 am
	300	3,23	92,88	0,09288	H: 12: 07 am
Humedal	500	8,64	57,87	0,05787	H: 07: 20 am
	460	9,01	51,05	0,05105	H: 07: 53 am
	575	10,62	54,14	0,05414	H: 08: 21 am
	450	8,66	51,96	0,05196	H: 08: 50 am
	475	8,99	52,84	0,05284	H: 09: 51 am
	585	10,57	55,35	0,05535	H: 10: 24 am
	525	10,07	52,14	0,05214	H: 10: 56 am
	550	10,72	51,31	0,05131	H: 11: 40 am
	425	8,6	49,42	0,04942	H: 12: 10 pm

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.12. Sólidos Totales P.T.A.R.I**

<b>Punto</b>	<b>Peso cápsula mas residuo (g)</b>	<b>Peso cápsula sola (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>
1	60,5096	60,4956	560
2	55,0191	55,0121	280
3	52,5582	52,5535	188
4	59,7283	59,726	92
5	55,7615	55,753	340
6	61,3151	61,3124	108

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.13. Sólidos Suspendedos Totales P.T.A.R.I.**

<b>Punto</b>	<b>Peso filtro mas residuo (g)</b>	<b>Peso filtro solo (g)</b>	<b>Sólidos Suspendedos (mg/L)</b>
1	0,1595	0,1102	493
2	0,1242	0,1102	140
3	0,1208	0,1096	112
4	0,1103	0,1091	12
5	0,1212	0,1087	125
6	0,1165	0,11	65

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.14. Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.I.**

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	67
2	140
3	76
4	80
5	215
6	43

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.15.** pH P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	6,4
2	7,5
3	8,5
4	9,1
5	9,05
6	11,5
6 filtrada	11,0

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.16.** Demanda Química de Oxígeno P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Volumen de FAS gastado (mL)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
Blanco	10,3	
1	2,1	813
2	8,3	198
3	7,5	278
4	9,5	79
5	7,1	317
6	8,5	179
6 filtrada	8,7	159

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 20 mL a 80 mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,0992 N

Normalidad del FAS diluido: 0,0248 N

**Tabla A1.17.** Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>
1	426
2	100
3	73
4	9
5	185
6	30

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.18.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.I.

Punto	Parámetro							
	Caudal (L/s)	Temperatura (°C)	pH	SST (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	2,65	22	6,4	493	560	67	813	426
2	--	21	7,5	140	280	140	198	100
3	--	19	8,5	112	188	76	278	73
4	--	20	9,1	12	92	80	80	9
5	0,0986	21	9,05	125	340	215	317	185
6	--	23	11.5	65	108	65	179	30

**Fuente:** Elaboración propia.

**Observaciones del muestreo:**

- El día anterior se colocó a funcionar la bomba, y se hizo recirculación desde la laguna.
- Se presentaron lluvias días anteriores
- El agua en el tanque séptico y la laguna de maduración se encuentra diluida.

**Muestreo N° 3. Sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales  
(P.T.A.R.I), 11 octubre 2013.**

**Tabla A1.19.** Temperatura P.T.A.R.I

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 09: 10 am	22
	H: 09: 15 am	22
	H: 09: 20 am	22
	H: 09: 25 am	22
	H: 09: 35 am	22
2	H: 09: 22 am	20
	H: 09: 25 am	20
	H: 09: 38 am	20
3	H: 10: 57 am	19
	H: 11: 18 am	19
	H: 11: 45 am	19
	H: 11: 59 am	19
	H: 12: 16 am	19
4	H: 09: 42 am	19
	H: 10: 15 am	20
	H: 10: 32 am	20
	H: 11: 01 am	20
	H: 11: 31 am	20
5	H: 07: 22 am	21
	H: 07: 50 am	21
	H: 08: 25 am	21
	H: 08: 57 am	21
	H: 09: 52 am	21
	H: 10: 36 am	21
	H: 11: 08 am	21
	H: 11: 41 am	21
	H: 12: 13 am	21

**Continuación Tabla A1.19.**

Punto	Hora	Temperatura °C
6	H: 07: 27 am	21
	H: 07: 58 am	21
	H: 08: 31 am	21
	H: 09: 58 am	21
	H: 10: 42 am	21
	H: 11: 16 am	21
	H: 11: 51 am	23
	H: 12: 19 am	23
	H: 12: 31 am	23

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.20.** Aforos de caudal P.T.A.R.I.

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
1	5100	2,38	2142,86	2,14286	H: 09: 10 am
	6000	2,75	2181,82	2,18182	H: 09: 25 am
5	270	1,90	142,11	0,14211	H: 07: 22 am
	340	2,40	141,67	0,14167	H: 07: 50 am
	400	3,9	102,56	0,10256	H: 08: 25 am
	480	3,73	128,69	0,12869	H: 08: 57 am
	500	4,06	123,15	0,12315	H: 09: 52 am
	470	4,28	109,81	0,10981	H: 10: 36 am
	560	5,03	111,33	0,11133	H: 11: 08 am
	310	2,99	103,68	0,10368	H: 11: 41 am
	390	4,13	94,43	0,09443	H: 12: 13 am
Humedal	225	4,79	46,97	0,04697	H: 07: 27 am
	360	9,17	39,26	0,03926	H: 07: 58 am
	465	11,46	40,58	0,04058	H: 08: 31 am
	280	6,61	42,36	0,04236	H: 09: 58 am
	300	7,48	40,11	0,04011	H: 10: 42 am
	285	7,2	39,58	0,03958	H: 11: 16 am
	380	9,22	41,21	0,04121	H: 11: 51 am
	500	11,65	42,92	0,04292	H: 12: 19 am
	300	6,8	44,12	0,04412	H: 12: 31 am

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.21.** Sólidos Totales P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Peso cápsula mas residuo (g)</b>	<b>Peso cápsula sola (g)</b>	<b>Sólidos totales (mg/L)</b>
1	60,5073	60,4943	520
2	55,015	55,0026	496
3	52,5583	52,553	212
4	55,7553	55,7521	128
5	59,7275	59,7184	364
6	61,3166	61,3113	212

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.22.** Sólidos Suspendidos Totales P.T.A.R.I

<b>Punto</b>	<b>Peso filtro mas residuo (g)</b>	<b>Peso filtro solo (g)</b>	<b>Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)</b>
1	0,1206	0,1087	119
2	0,1189	0,1102	87
3	0,1151	0,1096	55
4	0,1104	0,1087	17
5	0,1147	0,1112	35
6	0,1161	0,1086	75

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.23.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.I.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	401
2	409
3	157
4	111
5	329
6	137

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.24.** pH P.T.A.R.I.

Punto	pH
1	5,5
2	6,8
3	7,6
4	9,2
5	7,4
6	9,8
6 filtrada	9,2

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.25.** Demanda Química de Oxígeno P.T.A.R.I.

Punto	Volumen de FAS gastado (mL)	DQO (mg/L)
Blanco	8,9	
1	3,2	570
2	6,2	270
3	7,4	150
4	7,9	100
5	7,2	170
6	7,0	190
6 filtrada	8,2	70

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 9 mL a 90 mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,25 N

Normalidad del FAS diluido: 0,025 N

**Tabla A1.26.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) P.T.A.R.I.

Punto	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	511
2	143
3	44
4	5,8
5	79
6	33

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla A1.27.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.I.

Punto	Parámetro							
	Caudal (L/s)	Temperatura (°C)	pH	SST (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	2,16	22	5,5	119	520	401	570	511
2	--	20	6,8	87	496	409	270	143
3	--	21	7,6	55	212	157	150	44
4	--	19	9,2	17	128	111	100	5,8
5	0,117	21	7,4	35	364	329	170	79
6	--	21	9,8	75	212	137	190	33

**Fuente:** Elaboración propia.

**Nota:**

- Se presentaron lluvia días anteriores
- El agua en el tanque séptico se encuentra diluida.
- La laguna de maduración estaba vacía.

A partir de la tabla 62 se presentan los datos obtenidos para el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas P.T.A.R.D.

En los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y pH, el punto número 6 corresponde a la muestra del punto 5 filtrada.

Los puntos de muestreo se describen en la tabla 2.

**Muestreo N° 1. Sistema de tratamiento de aguas residuales Domésticas  
(P.T.A.R.I), 26 de agosto 2013.**

**Tabla A1.28.** Temperatura P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 07: 50 am	22
	H: 08: 20 am	21
	H: 08: 56 pm	22
	H: 09: 28 pm	22
	H: 10: 00 am	22
	H: 10: 23 am	22
	H: 11: 06 am	22
	H: 11: 38 am	22
	H: 12: 09 pm	22
2	H: 07: 55 am	20
	H: 08: 23 am	20
	H: 08: 58 pm	20
	H: 09: 28 pm	20
	H: 10: 01 am	21
	H: 10: 27 am	21
	H: 11: 09 am	21
	H: 11: 42 am	21
	H: 12: 12 pm	21
3	H: 07: 58 am	21
	H: 08: 25 am	21
	H: 09: 00 pm	20
	H: 09: 30 pm	21
	H: 10: 04 am	21
	H: 10: 32 am	22
	H: 11: 03 am	22
	H: 11: 32 am	22
	H: 12: 15 pm	22

**Continuación Tabla A1.28.**

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
4	H: 08: 00 am	20
	H: 08: 29 am	20
	H: 09: 03 pm	20
	H: 09: 36 pm	21
	H: 10: 09 am	21
	H: 10: 45 am	21
	H: 11: 15 am	21
	H: 11: 50 am	21
	H: 12: 20 pm	21
5	H: 08: 02 am	18
	H: 08: 31 am	19
	H: 09: 04 pm	20
	H: 09: 39 pm	21
	H: 10: 18 am	21
	H: 10: 53 am	22
	H: 11: 21 am	23
	H: 11: 54 am	23
	H: 12: 22 pm	23

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.29.** Aforos de caudal P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal (mL/s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Hora</b>
2	420	1,49	281,88	0,281813	H: 07: 55 a.m.
	358,33	1,59	225,36	0,22536	H: 08: 23 a.m.
	255	3,44	74,13	0,07413	H: 08: 58 a.m.
	383,33	2,07	185,18	0,18518	H: 09: 28 a.m.
	370	1,80	205,56	0,20556	H: 10: 01 a.m.
	320	2,11	151,66	0,15166	H: 10: 27 a.m.
	415	2,68	154,85	0,15485	H: 11: 09 a.m.
	365	3,81	95,80	0,09580	H: 11: 42 a.m.
	455	3,49	130,37	0,13037	H: 12: 12 p.m.

**Continuación tabla A1.29**

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
5	431,67	1,10	392,43	0,39243	H: 08: 02 a.m.
	421,67	1,18	357,35	0,35735	H: 08: 31 a.m.
	363,33	1,16	313,21	0,31321	H: 09: 04 a.m.
	428,33	1,48	289,41	0,28941	H: 09: 39 a.m.
	363,33	1,39	261,39	0,26139	H: 10: 18 a.m.
	261,67	1,08	242,29	0,24229	H: 10: 53 a.m.
	310	1,30	238,46	0,23846	H: 11: 21 am
	310	1,35	229,63	0,22963	H: 11: 54 am
	400	1,67	239,52	0,23520	H: 12: 22 pm

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.30.** Sólidos Totales P.T.A.R.D.

Punto	Peso cápsula mas residuo (g)	Peso cápsula sola (g)	Sólidos Totales (mg/L)
1	61,5972	61,5901	284
2	52,5574	52,5461	452
3	55,0026	55,0002	96
4	61,3114	61,3077	148
5	55,7526	55,7490	144

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.31.** Sólidos Suspendedos Totales P.T.A.R.D.

Punto	Peso filtro mas residuo (g)	Peso filtro solo (g)	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)
1	0,1162	0,1090	72
2	0,1243	0,1088	155
3	0,1088	0,1084	4
4	0,1076	0,1073	3
5	0,1193	0,1079	71

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.32.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	212
2	297
3	92
4	145
5	73

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.33.** pH P.T.A.R.D

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	6,09
2	8,23
3	6,89
4	7,17
5	9,31

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.34.** Demanda Química de Oxígeno P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Volumen de FAS gastado (mL)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
Blanco	8,9	
1	6,1	276
2	5,1	375
3	6,7	217
4	7,6	128
5	7,0	188
6	8,0	89

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 19.2mL a 81mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,1042N

Normalidad del FAS diluido: 0,02469N

**Tabla A1.35.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) P.T.A.R.D.

Punto	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	163
2	261
3	51
4	18
5	18
6	9

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.36.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.D.

Punto	Parámetro							
	Temperatura (°C)	Caudal (L/s)	pH	SST (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	21.9	--	6,1	104	256	152	277	163
2	20.6	0,167	8,2	161	244	83	375	261
3	21.3	--	6,9	23	180	157	217	51
4	20.7	--	7,2	3	228	225	128	18
5	21.1	0,284	9,3	45	152	107	188	18
6	--	--	--	--	--	--	89	9

**Fuente:** Elaboración propia.

**Muestreo N° 2. Sistema de tratamiento de aguas residuales Domésticas  
(P.T.A.R.I), 06 de Septiembre 2013.**

**Tabla A1.37. Temperatura P.T.A.R.D.**

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 08: 02 a.m.	21
	H: 08: 28 a.m.	21
	H: 08: 55 a.m.	21
	H: 09: 29 a.m.	22
	H: 10: 05 a.m.	22
	H: 10: 42 a.m.	22
	H: 11:13 a.m.	22
	H: 11: 44 a.m.	22
	H: 12: 18 p.m.	22
2	H: 08: 09 a.m.	21
	H: 08: 38 a.m.	21
	H: 09: 05 a.m.	21
	H: 09: 39 a.m.	21
	H: 10: 13 a.m.	21
	H: 10: 46 a.m.	21
	H: 11: 18 a.m.	21
	H: 11: 50 a.m.	20
	H: 12: 21 p.m.	20
3	H: 08: 13 a.m.	20
	H: 08: 48 a.m.	20
	H: 09: 14 p.m.	20
	H: 09: 48 p.m.	21
	H: 10: 18 a.m.	21
	H: 10: 52 a.m.	21
	H: 11: 24 a.m.	21
	H: 11: 53 a.m.	21
	H: 12: 24 p.m.	21
4	H: 07: 43 a.m.	21
	H: 08: 17 a.m.	20
	H: 08: 48 a.m.	21
	H: 09: 21 a.m.	21
	H: 09: 58 a.m.	20
	H: 10: 36 a.m.	20
	H: 11: 03 a.m.	20
	H: 11: 34 a.m.	20
	H: 12: 08 p.m.	21

**Continuación Tabla A1.37.**

Punto	Hora	Temperatura (°C)
5	H: 07: 50 a.m.	19
	H: 08: 23 a.m.	20
	H: 08: 51 a.m.	20
	H: 09: 26 a.m.	20
	H: 10: 03 a.m.	21
	H: 10: 40 a.m.	21
	H: 11: 08 a.m.	21
	H: 12: 38 p.m.	22
	H: 12: 13 p.m.	22

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.38.** Aforos de caudal P.T.A.R.D.

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
2	368	2,03	181,28	0,18128	H: 08: 09 a.m.
	500	1,95	256,41	0,25641	H: 08: 38 a.m.
	390	4,56	85,53	0,08553	H: 09: 05 a.m.
	550	7,15	76,92	0,07692	H: 09: 39 a.m.
	500	1,0	500	0,5	H: 10: 13 a.m.
	610	1,97	309,65	0,30965	H: 10: 46 a.m.
	550	1,82	302,20	0,302120	H: 11: 18 a.m.
	490	1,45	337,93	0,33793	H: 11: 50 a.m.
	565	1,78	317,42	0,31742	H: 12: 21 p.m.
4	673	13,70	49,12	0,04912	H: 07: 43 a.m.
	740	15,58	47,50	0,04750	H: 08: 17 a.m.
	745	17,33	42,99	0,04299	H: 08: 48 a.m.
	730	15,47	47,19	0,04719	H: 09: 21 a.m.
	1065	23,40	45,51	0,04551	H: 09: 58 a.m.
	1225	26,02	47,08	0,04708	H: 10: 36 a.m.
	760	15,14	50,20	0,05020	H: 11: 03 a.m.
	550	12,05	45,64	0,04564	H: 11: 34 a.m.
	690	13,55	50,92	0,05092	H: 12: 08 p.m.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Tabla A1.39.** Sólidos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Peso cápsula mas residuo (g)</b>	<b>Peso cápsula sola (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>
1	61,3191	61,3127	256
2	47,9675	47,9614	244
3	61,5990	61,5945	180
4	52,5523	52,5466	228
5	55,7528	55,7490	152

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.40.** Sólidos Suspendedos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Peso filtro mas residuo (g)</b>	<b>Peso filtro solo (g)</b>	<b>Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)</b>
1	0,1202	0,1098	104
2	0,1235	0,1074	161
3	0,1106	0,1083	23
4	0,1090	0,1087	3
5	0,1130	0,1085	45

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.41.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	152
2	83
3	157
4	225
5	107

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.42.** pH P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	6,1
2	6,3
3	6,8
4	6,5
5	9,9
6	9,7

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.43.** Demanda Química Oxígeno

Punto	Volumen de FAS gastado (mL)	DQO (mg/L)
Blanco	10,2	
1	6,8	341
2	7,2	301
3	8,8	140
4	9,4	80
5	9,0	120
6	9,7	50

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 20,2 mL a 80 mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,0992N

Normalidad del FAS diluido: 0,02469N

**Tabla A1.44.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) P.T.A.R.D.

Punto	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	205
2	293
3	108
4	16,8
5	25,6
6	18

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.45.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.D.

Punto	Parámetro							
	Temperatura (°C)	Caudal (L/s)	pH	SST (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	21,7	--	6,1	104	256	152	341	205
2	20,8	0,263	6,3	161	244	83	301	293
3	20,7	--	6,8	23	180	157	140	108
4	20,4	0,0471	6,5	3	228	225	80	16,8
5	20,7	--	9,9	45	152	107	120	25,6
6	---	--	9,7	---	--	---	50	18

**Fuente:** Elaboración propia.

**Muestreo N° 3. Sistema de tratamiento de aguas residuales Domésticas  
(P.T.A.R.I), 18 de Septiembre 2013.**

**Tabla A1.46.** Temperatura P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 07: 25 a.m.	21
	H: 07: 59 a.m.	21
	H: 08: 29 a.m.	21
	H: 09: 05 a.m.	21
	H: 09: 39 a.m.	21
	H: 10: 12 a.m.	22
	H: 10: 45 a.m.	22
	H: 11: 20 a.m.	22
	H: 11: 50 a.m.	22
2	H: 07: 27 a.m.	19
	H: 08: 02 a.m.	20
	H: 08: 33 a.m.	20
	H: 09: 08 a.m.	20
	H: 09: 44 a.m.	20
	H: 10: 16 a.m.	20
	H: 10: 48 a.m.	20
	H: 11: 25 a.m.	21
	H: 11: 55 a.m.	21
3	H: 07: 32 a.m.	20
	H: 08: 06 a.m.	20
	H: 08: 38 a.m.	20
	H: 09: 12 a.m.	20
	H: 09: 48 a.m.	20
	H: 10: 20 a.m.	20
	H: 10: 56 a.m.	20
	H: 11: 29 a.m.	21
	H: 11: 58 a.m.	21
4	H: 07: 36 a.m.	20
	H: 08: 12 a.m.	20
	H: 08: 48 a.m.	20
	H: 09: 20 a.m.	20
	H: 09: 52 a.m.	20
	H: 10: 28 a.m.	20
	H: 11: 03 a.m.	20
	H: 11: 34 a.m.	21
	H: 12: 04 p.m.	21

**Continuación Tabla A1.46.**

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
5	H: 07: 40 a.m.	19
	H: 08: 18 a.m.	19
	H: 08: 51 a.m.	19
	H: 09: 26 a.m.	20
	H: 10: 03 a.m.	20
	H: 10: 32 a.m.	21
	H: 11: 08 a.m.	21
	H: 11: 38 a.m.	22
	H: 12: 13 p.m.	22

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.47.** Aforos de caudal P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal (mL/s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Hora</b>
2	490	3,26	150,31	0,15031	H: 07: 27 a.m.
	335	1,61	208,07	0,20807	H: 08: 02 a.m.
	345	1,71	201,75	0,20175	H: 08: 33 a.m.
	350	1,87	187,16	0,18716	H: 09: 08 a.m.
	470	2,54	185,04	0,18504	H: 09: 44 a.m.
	495	1,72	287,79	0,28779	H: 10: 16 a.m.
	405	1,40	289,29	0,28929	H: 10: 48 a.m.
	500	1,94	257,73	0,25773	H: 11: 25 a.m.
	490	1,99	246,23	0,24623	H: 11: 55 a.m.
4	675	11,0	61,36	0,06136	H: 07: 36 a.m.
	570	9,96	57,23	0,05723	H: 08: 12 a.m.
	500	8,41	59,45	0,05945	H: 08: 48 a.m.
	635	11,48	55,31	0,05531	H: 09: 20 a.m.
	610	10,33	59,05	0,05905	H: 09: 52 a.m.
	650	9,97	65,20	0,06520	H: 10: 28 a.m.
	485	8,09	59,95	0,05995	H: 11: 03 a.m.
	720	12,80	56,25	0,05625	H: 11: 34 a.m.
	560	9,82	57,03	0,05703	H: 12: 04 p.m.

**Continuación Tabla A1.47.**

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
5	295	0,51	578,43	0,57843	H: 07: 42 a.m.
	395	0,89	443,82	0,44382	H: 08: 21 a.m.
	510	1,09	467,89	0,46789	H: 08: 53 a.m.
	395	0,91	434,07	0,43407	H: 09: 28 a.m.
	505	1,29	391,47	0,39147	H: 10: 04 a.m.
	640	1,56	410,26	0,41026	H: 10: 34 a.m.
	500	1,28	390,63	0,39063	H: 11: 10 a.m.
	755	1,98	381,31	0,38131	H: 11: 41 a.m.
	660	1,78	370,79	0,37079	H: 12: 15 p.m.
	670	1,96	341,84	0,34184	H: 12: 35 p.m.
	500	2,17	230,41	0,23041	H: 11: 41 p.m.
	620	2,66	233,08	0,23308	H: 12: 55 p.m.
460	2,08	221,15	0,22115	H: 01: 06 p.m.	

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.48. Sólidos Totales P.T.A.R.D.**

Punto	Peso cápsula mas residuo (g)	Peso cápsula sola (g)	Sólidos Totales (mg/L)
1	55,7554	55,7481	292
2	61,6000	61,5912	352
3	61,3125	61,3087	188
4	52,5506	52,5467	156
5	53,2955	53,2902	212

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.49. Sólidos Suspendidos Totales P.T.A.R.D.**

Punto	Peso filtro mas residuo (g)	Peso filtro solo (g)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
1	0,1149	0,1076	73
2	0,1205	0,1071	134
3	0,1101	0,1089	12
4	0,1076	0,1074	2
5	0,1120	0,1082	38

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.50.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	219
2	218
3	176
4	154
5	174

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.51.** pH P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	7,5
2	8,5
3	8,6
4	7,9
5	11,1
6	9,97

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.52.** Demanda Química Oxígeno

<b>Punto</b>	<b>Volumen de FAS gastado (mL)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
Blanco	10,9	
1	7,3	360
2	8,1	280
3	9,6	130
4	10,0	90
5	8,6	230
6	10,3	60

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 19,5 mL a 80 mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,1025N

Normalidad del FAS diluido: 0,02498 N

**Tabla A1.53.** Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>
1	145
2	142
3	61
4	12,4
5	19
6	12

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.54.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.D.

<b>Pun to</b>	<b>Parámetro</b>							
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>pH</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>ST (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>
1	21,7	--	7,5	73	292	219	360	145
2	20,8	0,223	8,5	134	352	218	280	142
3	20,7	--	8,6	12	188	176	130	61
4	20,4	0,0586	7,9	2	156	154	90	12,4
5	20,7	0,376	11,1	38	212	174	230	19
6	--	--	9,97	--	--	--	60	12

**Fuente:** Elaboración propia.

**Muestreo N° 4. Sistema de tratamiento de aguas residuales Domésticas  
(P.T.A.R.I), 26 de Septiembre 2013.**

**Tabla A1.55.** Temperatura P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	H: 07: 21 a.m.	22
	H: 07: 54 a.m.	22
	H: 08: 23 a.m.	22
	H: 08: 59 a.m.	22
	H: 09: 36 a.m.	22
	H: 10: 08 a.m.	22
	H: 10: 40 a.m.	22
	H: 11: 17 a.m.	22
	H: 11: 46 a.m.	22
2	H: 07: 24 a.m.	20
	H: 07: 59 a.m.	20
	H: 08: 30 a.m.	20
	H: 09: 04 a.m.	20
	H: 09: 40 a.m.	20
	H: 10: 12 a.m.	20
	H: 10: 43 a.m.	20
	H: 11: 19 a.m.	20
	H: 11: 50 a.m.	21
3	H: 07: 28 a.m.	22
	H: 08: 02 a.m.	22
	H: 08: 33 a.m.	22
	H: 09: 08 a.m.	22
	H: 09: 44 a.m.	22
	H: 10: 16 a.m.	22
	H: 10: 49 a.m.	22
	H: 11: 23 a.m.	22
	H: 11: 55 a.m.	22
4	H: 07: 32 a.m.	20
	H: 08: 08 a.m.	20
	H: 08: 40 a.m.	20
	H: 09: 13 a.m.	20
	H: 09: 49 a.m.	20
	H: 10: 22 a.m.	20
	H: 10: 59 a.m.	20
	H: 11: 28 a.m.	20
	H: 12: 04 p.m.	20



**Continuación Tabla A1.55.**

Punto	Hora	Temperatura °C
5	H: 07: 38 a.m.	19
	H: 08: 14 a.m.	29
	H: 08: 48 a.m.	20
	H: 09: 20 a.m.	20
	H: 09: 56 a.m.	22
	H: 10: 28 a.m.	22
	H: 11: 02 a.m.	22
	H: 11: 36 a.m.	22
	H: 12: 14 p.m.	22

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.56.** Aforos de caudal P.T.A.R.D.

Punto	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (mL/s)	Caudal (L/s)	Hora
2	490	2,84	172,53	0,17253	H: 07: 24 a.m.
	520	2,41	215,77	0,21577	H: 07: 59 a.m.
	560	1,66	337,35	0,33735	H: 08: 30 a.m.
	430	1,91	225,13	0,22513	H: 09: 04 a.m.
	465	1,47	316,33	0,31633	H: 09: 40 a.m.
	750	1,57	477,71	0,47771	H: 10: 12 a.m.
	570	1,69	337,28	0,33728	H: 10: 43 a.m.
	525	1,62	324,07	0,32407	H: 11: 19 a.m.
	610	2,52	242,06	0,24206	H: 11: 50 a.m.
4	475	9,0	52,78	0,05278	H: 07: 32 a.m.
	490	9,02	54,32	0,05432	H: 08: 08 a.m.
	515	11,0	46,82	0,04682	H: 08: 40 a.m.
	700	14,38	48,68	0,04868	H: 09: 13 a.m.
	750	16,95	44,25	0,04425	H: 09: 49 a.m.
	740	14,25	51,93	0,05193	H: 10: 22 a.m.
	590	11,94	49,41	0,04941	H: 10: 59 a.m.
	830	16,68	49,76	0,04976	H: 11: 28 a.m.
	770	16,20	47,53	0,04753	H: 12: 04 p.m.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.57.** Sólidos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Peso cápsula mas residuo (g)</b>	<b>Peso cápsula sola (g)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>
1	61,6005	61,5902	412
2	61,3198	61,3079	476
3	52,5529	52,5462	268
4	53,2942	53,2902	160
5	55.7520	55.7478	168

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.58.** Sólidos Suspendedos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Peso filtro más residuo (g)</b>	<b>Peso filtro solo (g)</b>	<b>Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)</b>
1	0,1249	0,1083	166
2	0,1301	0,1082	219
3	0,1112	0,1093	19
4	0,1090	0,1087	3
5	0,1169	0,1074	95

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.59.** Sólidos Disueltos Totales P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>Sólidos Disueltos Totales (mg/L)</b>
1	246
2	257
3	249
4	157
5	73

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.60.** pH P.T.A.R.D.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>
1	6,95
2	9,4
3	9,1
4	7,8
5	11,7
6	9,9
Vertimiento a la laguna	8,6

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.61.** Demanda Química de Oxígeno P.T.A.R.D.

Punto	Volumen de FAS gastado (mL)	DQO (mg/L)
Blanco	11,1	
1	7,7	340
2	6,9	420
3	9,1	200
4	10,5	60
5	9,2	190
6	9,5	160
Vertimiento a la laguna	7,5	360

**Fuente:** Elaboración propia.

Dilución 19,8 mL a 80 mL

Normalidad del FAS concentrado: 0,1008 N

Normalidad del FAS diluido: 0,02495N

**Tabla A1.62.** Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) P.T.A.R.D.

Punto	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	145
2	142
3	61
4	12
5	19
6	12

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla A1.63.** Consolidado de los parámetros evaluados P.T.A.R.D.

Punto	Parámetro							
	Temperatura (°C)	Caudal (L/s)	pH	SST (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	22	--	6,95	166	412	246	340	145
2	20,11	0,223	9,4	219	476	257	420	142
3	22	--	9,1	19	268	249	200	61
4	20	0,0856	7,8	3	160	157	60	12
5	20,9	0,376	11,7	95	168	73	190	19
6	--	--	9,8	--	--	---	160	12
7	--	--	8,6	--	--	--	360	--

**Fuente:** Elaboración propia.

**Observaciones:**

- Se presentó vertimiento por “la tubería de agua lluvia”, el agua en la laguna estaba estancada debido a que no se presentó vertimiento en la salida y hubo alto brillo solar.
- Se analizó la muestra del vertimiento para DQO y pH corresponde al punto 7.

## **ANEXO 2**

Datos climatológicos

**Tabla A2.1.** Datos climatológicos para los días de muestreo y el día anterior a éstos.

Fecha	Temperatura °C	Humedad %	Precipitación mm	Índice de calor	Rad solar W/m <sup>2</sup>	Energía solar
20/06/2013	19,1	74,3	0,0	19,24	160,4	13,80
21/06/2013	18,8	78,8	0,0	19,25	215,8	18,56
25/07/2013	17,6	84,4	x	17,91	189,79	16,32
26/08/2013	17,9	86,5	0,5	18,26	158,79	13,66
05/09/2013	20,4	67,2	0,0	20,3	180,08	15,49
06/09/2013	18,8	72,4	0,0	18,9	132,04	11,36
17/09/2013	18,1	82,0	3,5	18,3	115,96	9,97
18/09/2013	18,9	82,9	0,6	19,3	164,29	14,13
25/09/2013	20,4	61,5	0,0	20,3	185,67	15,97
26/09/2013	20,2	65,9	0,0	20,2	197,5	16,99
03/10/2013	18,3	85,5	13,8	18,7	139,9	12,03
04/10/2013	18,3	82,9	8,5	18,6	164,2	14,12
10/10/2013	18,2	84,4	25,0	18,5	116,87	10,05
11/10/2013	18,5	83,8	0,0	18,9	167,42	14,4

**Fuente:** Elaboración propia.

Los datos de precipitación se extrajeron de la página del IDEAM:  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/759>

## **ANEXO 3**

Registro fotográfico

A continuación se muestran las fotografías tomadas a las diferentes unidades de los sistemas de tratamiento.

## **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES**

### **1. Estructura de entrada y sistema preliminar de tratamiento:**

Está constituido por la cámara de bombeo, tanque de sección cuadrada, canal de aproximación, reja de limpieza manual y trampa de grasas. Lo cual permite la eliminación de sólidos grandes, grasas y aceites.

**Imagen A3.1. Tratamiento preliminar: cámara de bombeo, tanque y canal de aproximación.**





**Imagen A3.2. Tratamiento preliminar: canal de aproximación, reja.**



**Imagen A3.2. Tanque homogeneizador.**



**Imagen A3.3. Filtro percolador.**



**Imagen A3.4. Lechos de secado.**



**Imagen A3.5. Tanque de aireación.**



### **SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Constituidos por las unidades de tanque séptico, humedal de flujo subsuperficial y laguna de maduración. El tanque séptico recibe el agua del sedimentador secundario que hace parte del sistema industrial y el agua residual de la sede administrativa.

**Imagen A3.6. Sedimentador secundario, tanque séptico y humedal de flujo subsuperficial.**



**Imagen A3.7. Laguna de maduración entrada.**



**Imagen A3.7. Laguna de maduración.**

