

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS AERÓBICOS Y
ANAERÓBICOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE
RALLANDERÍAS DURANTE SU PERIODO DE ARRANQUE**



**DIANA ASTRID DELGADO GUEVARA
JESÚS MAURICIO LÓPEZ GALVÁN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS AERÓBICOS Y
ANAERÓBICOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE
RALLANDERÍAS DURANTE SU PERIODO DE ARRANQUE**

PROYECTO DE GRADO PARA ASPIRAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR

Ing. Guillermo Chaux Figueroa

Docente departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi guía espiritual e iluminar mi camino día tras día.

A mis padres por ser las personas más influyentes en mi vida y la fuente de inspiración para alcanzar mis metas, gracias por todo el amor y cariño brindado, e inculcarme valores que han sido y seguirán siendo de gran utilidad.

A mis hermanos, tíos y primos por estar presentes como una verdadera familia, por darme su apoyo incondicional que me ha ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

A mis amigos que han estado constantemente conmigo para respaldarme, por ser como hermanos y guiarme cuando se presentaron situaciones difíciles, además de estar presentes en cada una de mis alegrías.

A la Universidad del Cauca que fue el Alma Mater encargada de brindarme el conocimiento necesario para empezar nuevos retos, en especial al Ing Guillermo Chaux Figueroa por ser un gran investigador y orientador.

A la CRC por dejarme ser parte de esta entidad y realizar este trabajo el cual me genero nuevas experiencias y de gran utilidad para el emprendimiento de esta carrera, así como a la Ing. Astrid Eliana Reyes por los conocimientos brindados y fomentar mi formación como investigador.

Diana Astrid Delgado G.

A Dios por bendecirme día a día, dándome las fuerzas e iluminar mi camino para afrontar y superar los obstáculos que se presentaron en la consecución de tan valioso objetivo.

A mis padres por brindarme todo su cariño, estímulo y comprensión, por ser ese apoyo incondicional y otorgarme ese incansable ejemplo de superación y responsabilidad. A mis hermanas y hermanos por apoyarme y compartir cada momento de felicidad y adversidad a mi lado, por contagiarme de alegría y darme las esperanzas necesarias para salir adelante.

Al ingeniero Guillermo Chaux Figueroa por su valiosa orientación, incentivo y confianza depositada para la realización de este trabajo.

A la Universidad del Cauca institución que me abrió las puertas del conocimiento junto con un excelente cuerpo de docentes que en todo momento estuvieron prestos para contribuir con mi aprendizaje.

A la corporación autónoma regional del Cauca por posibilitarme la realización de mi investigación, especialmente a la ingeniera Astrid Reyes quien incondicionalmente me brindó todos sus conocimientos y apoyo continuo en todo este proceso.

A mis amigos y seres queridos especialmente a mi novia por el apoyo incondicional en los momentos en que más lo necesité.

Jesús Mauricio López Galván

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE FOTOS	viii
ABREVIATURAS	x
INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. OBJETIVOS	4
4.1 GENERAL	4
4.2 ESPECIFICOS	4
5. MARCO TEÓRICO	5
5.1 ANTECEDENTES	5
5.2 PROCESO DE AIREACIÓN	9
5.3 PROCESO FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA).....	9
5.4 PROCESO FILTRO PERCOLADOR	10
5.5 ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DEL ALMIDÓN AGRIO DE YUCA	11
5.5.1 Lavado y pelado de raíces.....	11
5.5.2 Rallado de raíces.....	11
5.5.3 Separación de la lechada de almidón	12
5.5.4 Tamizado de la lechada de almidón	12
5.5.5 Sedimentación de los gránulos de almidón.....	12
5.5.6 Fermentación	12
5.5.7 Secado	13
5.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN.....	13
5.6.1 Temperatura.....	13
5.6.2 pH.....	14
5.6.3 Conductividad eléctrica.....	14
5.6.4 Oxígeno disuelto.....	14
5.6.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	14

5.6.6	Demanda química de oxígeno (DQO).....	15
5.6.7	Sólidos suspendidos totales (SST)	15
5.7	CONTAMINACIÓN CAUSADA POR EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN.....	15
5.8	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBICADA EN EL PEDREGAL - CORREGIMIENTO DE MONDOMO	17
5.8.1	Ubicación.....	17
5.8.2	Características de la PTAR.....	17
6.	METODOLOGÍA	20
6.1	Localización de la PTAR.....	20
6.2	Acondicionamiento de los sistemas	20
6.2.1	Sistema de aireación	20
6.2.2	Filtros anaeróbicos	20
6.2.3	Filtro Percolador	21
6.3	Plan de muestreo	21
6.4	Análisis Estadístico.....	23
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
7.1	Evaluación del desempeño del sistema de aireación.....	24
7.2	Evaluación del desempeño de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs) 29	
7.3	Comportamiento del sedimentador de mancha.....	34
7.4	Evaluación del desempeño del filtro percolador.....	37
8.	CONCLUSIONES	41
9.	RECOMENDACIONES	42
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	42
	ANEXOS	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de DQO y SST en la etapa de lavado y pelado	16
Tabla 2. Características fisicoquímicas del agua en las etapas de sedimentación.....	16
Tabla 3. Fechas de muestreos.....	21
Tabla 4 Parámetros medidos in situ.....	23
Tabla 5. Parámetros a medir ex situ.	23
Tabla 6. Datos de conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	47
Tabla 7. Datos de oxígeno disuelto (mg/L).....	48
Tabla 8. Datos de pH.....	49
Tabla 9. Datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).....	50
Tabla 10. Caudal (L/s) para 30 de agosto.....	51
Tabla 11. Caudal (L/s) para 6 de septiembre.....	52
Tabla 12. Caudal (L/s) para 4 de octubre.....	53
Tabla 13. Caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) para 11 de octubre.....	54
Tabla 14. Caudal (L/s) para 11 de octubre.....	55
Tabla 15. Caudal (L/s) para 15 de noviembre.....	56
Tabla 16. Caudal (L/s) para 15 de noviembre.....	57
Tabla 17. Caudal (L/s) para 17 de noviembre.....	58
Tabla 18. Caudal (L/s) para 17 de noviembre.....	59
Tabla 19. Caudal (L/s) para 22 de noviembre.....	60
Tabla 20. Caudal (L/s) para 22 de noviembre.....	61
Tabla 21. Caudal (L/s) para 24 de noviembre.....	62
Tabla 22. Caudal (L/s) para 24 de noviembre.....	63
Tabla 23. Caudal (L/s) para 29 de noviembre.....	64
Tabla 24. Caudal (L/s) para 29 de noviembre.....	65
Tabla 25. Caudal (L/s) para 1 de diciembre.....	66
Tabla 26. Caudal (L/s) para 1 de diciembre.....	67
Tabla 27. Caudal (L/s) para 7 de diciembre.....	68
Tabla 28. Caudal (L/s) para 7 de diciembre.....	69
Tabla 29. Caudal (L/s) para 13 de diciembre.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso general de extracción del almidón de yuca.	13
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de yuca.....	17
Figura 3. Dimensiones del sedimentador de mancha (corte transversal).	18
Figura 4. Puntos de muestreo.....	22
Figura 5. Contenido de una caja esquemática.....	24
Figura 6. Variación de los parámetros medidos in situ y resultados del modelo estadístico que evaluó el sistema de aireación.....	25
Figura 7. Variación de los parámetros medidos en laboratorio y resultados del modelo estadístico que evaluó el sistema de aireación.....	27
Figura 9. Entrada y salida del flujo en sedimentadores secundarios.....	29
Figura 8. Natas en sedimentadores secundarios.....	29
Figura 10. Parámetros medidos in situ y resultados del modelo estadístico para los FAFAs.....	30
Figura 11. Parámetros medidos en el laboratorio y resultados del modelo estadístico para los FAFAs.....	32
Figura 12. Medio soporte FAFA 1.....	33
Figura 13. Medio soporte FAFA 2.....	33
Figura 14. Paredes del sedimentador de mancha.....	35
Figura 15. Sedimentador de mancha.....	35
Figura 16. Concentración de SST en el afluente y efluente de los sedimentadores de mancha.....	36
Figura 17. Mancha resuspendida.....	36
Figura 18. Diferencias entre los sedimentadores después del mantenimiento.....	36
Figura 19. Parámetros medidos en el sitio para el filtro percolador.....	37
Figura 20. Parámetros medidos en laboratorio para afluente, efluente y salida del sedimentador secundario del filtro percolador.....	40
Figura 21. Reporte 30 de agosto.....	71
Figura 22. Reporte 6 de septiembre.....	72
Figura 23. Reporte 4 de octubre.....	73
Figura 24. Reporte 11 de octubre.....	74
Figura 25. Reporte 15 de noviembre.....	75
Figura 26. Reporte 17 de noviembre.....	76
Figura 27. Reporte 22 de noviembre.....	77
Figura 28. Reporte 24 de noviembre.....	78
Figura 29. Reporte 29 de noviembre.....	79
Figura 30. Reporte 1 de diciembre.....	80
Figura 31. Reporte 7 de diciembre.....	81
Figura 32. Reporte 13 de diciembre.....	82

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Entrada al sedimentador de mancha.	114
Foto 2. Resuspensión de mancha en la entrada al sedimentador.	114
Foto 3. Flotador de cabeza fijo para la dosificación de cal.	115
Foto 4. Dosificación de cal.	115
Foto 5. Tanque de dosificación de cal a la salida del sedimentador.	115
Foto 6. Sistema de aireación.	116
Foto 7. Tanques de aireación.	116
Foto 8. Tanques de sedimentación.	117
Foto 9. Filtros anaerobios.	117
Foto 10. FAFA 1.	118
Foto 11. FAFA 2.	118
Foto 12. Filtro percolador.	118
Foto 13. Taponamiento de orificios del brazo distribuidor en el filtro percolador.	119
Foto 14. Brazo distribuidor del filtro percolador.	119
Foto 15. Material de soporte en el filtro percolador.	119
Foto 16. Interruptores de sistema de aireación y filtro percolador	120
Foto 17. Caseta de equipos y almacenamiento.	120
Foto 18. Equipo de bombeo del filtro percolador.	120
Foto 19. Compresor de los tanques de aireación.	120
Foto 20. Secado artesanal de la mancha extraída del sedimentador primario.	121

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Determinaciones in situ.....	47
ANEXO B. Datos obtenidos para caudal (L/s).....	51
ANEXO C. Reporte de resultados de laboratorio (CRC).	71
ANEXO D. Resultados estadísticos.	83
ANEXO E. Registro fotográfico.	114
ANEXO F. Formulas de cálculo.	121

ABREVIATURAS

AGV	=	Ácidos Grasos Volátiles
ANOVA	=	Analysis of variance (Análisis de Varianza)
BID	=	Banco de Interamericano de Desarrollo
°C	=	Centígrados
CaCO ₃	=	Carbonato de Calcio
CaO	=	Óxido de calcio
CN-	=	Cianuro
CO ₂	=	Dióxido de Carbono
CRC	=	Corporación Autónoma Regional del Cauca
CVC	=	Corporación Autónoma Regional del Valle
DBO ₅	=	Demanda Bioquímica de Oxígeno medida a los 5 días
DQO	=	Demanda Química de Oxígeno
EM1	=	Organismos Efectivos
FAFA	=	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
g/L	=	Gramos por litro
H ₂ O	=	Agua
Hp	=	Caballo de fuerza
Kg	=	Kilogramo
Km	=	Kilómetros
km ²	=	Kilómetros cuadrados
L/s	=	Litro por segundo
MAVDT	=	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
m	=	Metro
m ₃	=	Metro cúbico
m ₃ /día	=	Metro cúbico por día
meq/L	=	Miliequivalentes por litro
mg/L	=	Miligramos por litro
ml	=	Mililitros
N-NH ₄ ⁺	=	Nitrógeno Amoniacal
NTK	=	Nitrógeno Total Kjeldahl
NO ₂	=	Nitratos
NO ₃	=	Nitritos
OD	=	Oxígeno disuelto
OLR	=	OrganicLoadingRate (Tasa de carga Orgánica)
P	=	Probabilidad
PT	=	Fósforo Total
PTAR	=	Planta de Tratamiento De Aguas Residuales
pH	=	Potencial de Hidrógeno
PML	=	Producción Mas Limpia
Q	=	Caudal
S.A.	=	Sociedad Anónima
SD	=	Sólidos Disueltos
seg	=	Segundos
SF	=	Sólidos Fijos
SS	=	Sólidos Suspendidos
ST	=	Sólidos Totales

SV	=	Sólidos Volátiles
SST	=	Sólidos Suspendidos Totales
TRH	=	Tiempo de Retención Hidráulico
ton/año	=	Tonelada por año
ton/día	=	Tonelada por día
$\mu\text{s/cm}$	=	Micro siemens por centímetro
UASB	=	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente)

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título:

Evaluación del comportamiento de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos de una planta de tratamiento de efluentes de rallanderías durante su periodo de arranque.

Estudiantes:

Diana Astrid Delgado Guevara.
Jesús Mauricio López Galván.

Director:

Ing. Guillermo Chaux Figueroa.

Lugar de investigación:

Corregimiento de Mondomo.
Laboratorio Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).

Duración del proyecto:

Seis meses

Tipo de proyecto:

Investigación básica y aplicada

Financiación:

CRC
Universidad del Cauca.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes hídricas son elementos indispensables para la consecución de recursos que permitan subsistir y mejorar la calidad de vida de las comunidades, siendo éstas en la mayoría de los casos mal utilizadas y deterioradas a lo largo de todo el territorio colombiano. Al respecto, el departamento del Cauca no es la excepción, por lo cual es de vital importancia generar medidas que garanticen una mejora continua en los procesos de producción.

Colombia es un país en el que se desarrollan diferentes actividades agrícolas, siendo una de las más importantes el cultivo de yuca; este es aprovechado para el procesamiento y obtención de almidón dulce el cual es utilizado para la elaboración de papel, farmacéuticos, adhesivos, entre otros. Otro tipo de almidón obtenido del aprovechamiento de la yuca es el agrio que se utiliza en la industria alimentaria (Luna *et al.*, 2006). En Colombia la producción de almidón agrio se centra en ciertos departamentos de la región Caribe como lo son Córdoba y Sucre mientras que en la región Pacífica se centra en el Cauca. Las empresas dedicadas a la extracción del almidón se denominan rallanderías, presentando al departamento del Cauca como uno de los principales generadores ya que cuenta con un número estimado de 150 (CRC, 2005).

La yuca utilizada en el Cauca proviene del mismo departamento y de diferentes zonas del país en especial Quindío y Risaralda, aunque en algunas ocasiones también es traída del Ecuador (Torres *et al.*, 2005a). La extracción del almidón agrio de yuca se concentra en el norte del departamento produciendo a nivel nacional aproximadamente el 80%, convirtiéndose así en uno de los cultivos de mayor importancia económica para los campesinos que ven en esta actividad una fuente de ingresos (Cabezas *et al.*, 2007).

Dentro del proceso de extracción de almidón se evidencia una problemática ambiental relacionada con el alto consumo de agua y con el detrimento de su calidad, produciéndose grandes volúmenes de aguas residuales a las cuales en su mayoría no se les realiza ningún tipo de tratamiento y son vertidas directamente a los cuerpos receptores, afectando notoriamente la calidad de estas fuentes hídricas; por tal motivo en la actualidad se están realizando estudios sobre la implementación de tratamientos que permitan reducir el impacto negativo a los ecosistemas.

A nivel internacional se han estudiado diferentes sistemas de tratamiento con el fin de ofrecer alternativas para la depuración de este tipo de agua residual. Se han evaluado a escala de laboratorio, piloto y real reactores anaeróbicos ya que estos presentan ciertas ventajas en comparación con los sistemas aeróbicos; una de las principales razones para su estudio se debe a que en las zonas donde se realiza la extracción de almidón presentan características socio-económicas especiales, las cuales influyen en la operación y mantenimiento de este tipo de reactores, además por medio de los procesos anaerobios se generan gases como el metano el cual puede ser utilizado como una alternativa energética para la sostenibilidad de las industrias procesadoras de almidón y del sistema de tratamiento empleado (Torres *et al.*, 2005b).

En Colombia, fundamentalmente en el departamento del Valle y a partir de la década de los 90 se adelantaron estudios sobre la tratabilidad anaeróbica de las aguas residuales

generadas durante el procesamiento del almidón de yuca. Entidades como la Universidad del Valle han llevado a cabo una serie de investigaciones en las rallanderías del departamento del Cauca sobre la factibilidad de biodegradación anaerobia a diferentes escalas de este tipo de aguas (Rojas *et al.*, 1996, citado por Torres *et al.*, 2005b), gracias a estos estudios se han implementado tecnologías como los filtros anaerobios para tratar los efluentes de estas rallanderías pero no han tenido la eficiencia esperada por presentar diversos inconvenientes asociados a factores ambientales y operacionales (Pérez *et al.*, 2009), por esto entidades gubernamentales como la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) se han interesado en buscar alternativas de tratamiento como la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a escala piloto que involucra diversos mecanismos biológicos (anaerobios y aerobios) para determinar la viabilidad técnica y operacional de estos sistemas .

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación causada por los desechos generados en el proceso de extracción del almidón de yuca crea efectos directos, no sólo para el ambiente, sino también en la calidad de vida de la población, principalmente aquella que se encuentra en las zonas de producción. Desde el punto de vista de la salud, esta agua residual es un efluente altamente contaminante debido no sólo a su alta carga de trabajo, sino también a una sustancia de efecto tóxico como lo es el ácido cianhídrico (Fioretto, 2001 y Cereda, 2001; citados por Inoue , 2008). Las Industrias del procesamiento de yuca son en gran medida las responsables de la contaminación ambiental, porque cuando no son tratadas las aguas residuales generadas en este proceso terminan siendo arrojadas en los cuerpos de agua y en tierras adyacentes (Barana, 2000; Cordero, 2006 y Colin *et al.*, 2007; citados por Inoue, 2008).

De acuerdo con estudios previos el 48.75% de las rallanderías del departamento vierten sus aguas residuales a las quebradas, el 23.8% en acequias, el 15.4% la arrojan a los ríos, 1.5% en alcantarillados, 9% a las cañadas y sólo el 1.5%, equivalente a 3 rallanderías, depositan el agua en lagunas de estabilización (Gottret y Dufour, 1997). Las aguas descargadas diariamente a los cuerpos receptores contienen 100 Kg de DQO/tonelada de yuca procesada (Vidal *et al.*, 2007), las cuales se convierten en uno de los mayores contaminantes que afectan la calidad y contribuyen al deterioro de las fuentes hídricas receptoras.

En el departamento del Cauca la producción de almidón agro se centra en el corregimiento de Mondomo municipio de Santander de Quilichao, donde se encuentran alrededor de 104 empresas dedicadas a esta actividad (CRC, 2005). En el Cauca la tecnología empleada para la obtención de almidón es por vía húmeda y es similar en cada una de las rallanderías presentes (Rivieret *et al.*, 2001), la materia prima empleada para estos procesos es la yuca que utiliza el recurso hídrico como principal elemento para llevar a cabo tal propósito. En pequeñas rallanderías para la extracción del almidón semanalmente se procesan entre 5 y 12.5 toneladas de yuca y se utilizan alrededor de 10.2 m³ de agua para el procesamiento de una tonelada, y en las etapas de lavado, rallado y sedimentación se generan aproximadamente 8.9 Kg de residuos líquidos (Marmolejo *et al.*, 2008).

En la etapa de sedimentación del almidón se distinguen tres capas: la capa inferior que corresponde al almidón natural, la intermedia que contiene almidón de baja densidad con poca calidad el cual es un subproducto llamado “mancha”, y en la capa superior está un sobre nadante o agua residual (Alarcón y Dufour, 1998). Para el manejo de la mancha y del agua residual la mayoría de las rallanderías no están en la capacidad de detener el subproducto y tratar el efluente debido a que no poseen la infraestructura necesaria para realizar algún tipo de tratamiento; sin embargo, algunas rallanderías cuentan con sedimentadores de mancha y en algunos casos también poseen filtros anaerobios los cuales no funcionan con la eficiencia proyectada, esto se debe a que los sedimentadores no trabajan adecuadamente haciendo que los filtros se colmaten por el exceso de mancha y se reduzca así su eficiencia (Cabezas *et al.*, 2007).

3. JUSTIFICACIÓN

En el departamento del Cauca la extracción del almidón de yuca es una de las principales actividades agroindustriales que genera sustento y desarrollo para la región; desafortunadamente los subproductos de esta actividad afectan notoriamente al ecosistema, sobre todo a las fuentes de agua con lo cual se hace necesaria la presencia de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) autoridad capaz de desarrollar mecanismos que permitan cumplir con la normatividad ambiental vigente.

De acuerdo con estudios realizados para obtener una producción más limpia en el proceso de extracción de yuca (Torres *et al.*, 2005a) se estimó que en la etapa de sedimentación se genera el 80% de aguas residuales que contaminan los cuerpos receptores, considerándose así la necesidad de construir un sistema de tratamiento de aguas residuales para cumplir con la normatividad colombiana en cuanto al vertimiento y calidad de agua, Decreto 1594/84 el cual establece el uso del agua y residuos líquidos (Capítulo VI que reglamenta el vertimiento de estos residuos)¹. En Colombia desde 1990 se han realizado estudios sobre las diferentes alternativas de tratamiento biológico para efluentes procedentes de rallanderías, los sistemas evaluados se han implementado a escala de laboratorio y piloto; la Universidad del Valle en cooperación con la CVC, han realizado investigaciones encaminadas a determinar la tecnología apropiada para tratar este tipo de efluentes, en estas experiencias se ha trabajado con procesos biológicos anaeróbicos debido que el agua a tratar presenta características que favorecen este tipo de tratamiento. En cuanto a los sistemas anaeróbicos estudiados a escala de laboratorio se presentan el reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente – UASB, el reactor de fases separadas y el filtro anaerobio; estos estudios dieron como resultado un mejor comportamiento del filtro anaerobio en cuanto a remoción de materia orgánica. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en laboratorio, el filtro anaerobio se ha implementado a escala piloto para su seguimiento por presentar bajos costos en construcción, operación y mantenimiento (Torres *et al.*, 2005b).

¹ El Decreto 3930 de 2010, que reemplaza al Decreto 1594 de 1984 todavía no ha definido una reglamentación precisa al respecto.

De este modo, con el fin de evitar la contaminación a fuentes hídricas y de buscar otras alternativas para tratamiento de este tipo de agua residual, la CRC en cumplimiento de los decretos establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y en convenio con el Banco de Interamericano de Desarrollo (BID) establecieron la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda El Pedregal - corregimiento de Mondomo para el año 2010 como solución a la problemática mencionada. La construcción de esta PTAR es el camino más viable para reducir los daños ambientales en las fuentes hídricas causados por los efluentes de cinco rallanderías que carecen de una infraestructura capaz de brindar un conveniente tratamiento a las descargas.

Esta planta cuenta estructuralmente con dos sedimentadores primarios de mancha los cuales trabajan alternamente dependiendo del periodo de mantenimiento; de esta unidad se distribuye uniformemente el caudal hacia las unidades de tratamiento secundario que funcionan en paralelo y se componen de: un filtro percolador con tres sedimentadores secundarios que trabajan en serie, dos filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) con diferentes medios de soporte donde un medio son botellas plásticas y el otro son botellas plásticas con retales de neumático, y por último cuenta con tres unidades de aireación con tres sedimentadores trabajando en serie; además posee una tubería de paso directo "bypass" la cual conduce el flujo del sedimentador de mancha en casos de emergencia o mantenimiento general de la planta (CRC, 2009).

Esta planta es la primera en Colombia que maneja sistemas aerobios para tratar este tipo de efluentes, además utiliza materiales reciclables como medio de soporte tanto para los filtros anaerobios y aerobios tales como botellas plásticas y retales de neumático, de este modo se reducen los costos de construcción y permite evaluar el comportamiento de estos materiales en la operación de los sistemas. Por tal motivo el presente trabajo se centró en el análisis de los diferentes sistemas con el fin de obtener datos que permitan evaluar su funcionamiento, determinar los inconvenientes operacionales y determinar los factores que afectan las eficiencias de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Estudiar el comportamiento de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos durante el periodo de arranque de una planta de tratamiento piloto para aguas residuales de rallanderías en el departamento del Cauca.

4.2 ESPECIFICOS

- Evaluar el desempeño de un sistema de aireación en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos en efluentes de rallanderías.

- Evaluar el comportamiento de los sistemas de filtración anaeróbica con medios de soporte en materiales reciclados (botellas plásticas y retales de neumático) en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos en efluentes de rallanderías.
- Evaluar el funcionamiento de un filtro percolador en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos en efluentes de rallanderías.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 ANTECEDENTES

Alarcón y Dufour (1998) reportaron la evaluación de 2 Biodigestores tipo balón complementados con sistemas de plantas acuáticas a escala piloto los cuales estaban ubicados en rallanderías del municipio de Santander de Quilichao. En este estudio se encontró una remoción de DQO del 76.6% y de sólidos del 61% para un tiempo de retención hidráulico de 21 horas. Además, se estableció que los biodigestores son una gran alternativa controlando estrictamente el pH, por tal motivo se recomienda agregar solución alcalinizante (hidróxido de calcio y sodio) de manera constante y proporcional al sustrato para obtener así un rendimiento óptimo en los procesos de digestión anaerobia (Manrique, 1999).

Annachhatre y Amornkaew (2001) en Tailandia, a escala de laboratorio determinaron la toxicidad y la degradación del cianuro en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB), evidenciando que los compuestos tóxicos actúan como inhibidores en los procesos anaeróbicos ya que estos son muy sensibles a la presencia de agentes como el cianuro y limitan el uso de este tipo de tratamiento. El agua a tratar en este estudio presentaba concentraciones de DQO alrededor de 8000-10000 mg/L, SST entre 730-990 mg/L y pH de 4.7-4.9; a dicha agua se le realizó la eliminación de sólidos por medio de sedimentación simple por gravedad y el pH se neutralizó con hidróxido de sodio (NaOH). El sistema presentó un pH para el efluente de 7 – 7.02 con una eliminación de cianuro del 93-98% la cual se vio afectada cuando las concentraciones de cianuro eran superiores a 10 mg/L. Según los autores citados, estudios previos demuestran que los sistemas UASB son eficaces para la depuración de aguas residuales de la industria de almidón, pero se recomienda eliminar los sólidos ya que este tipo de reactores presentan una alta sensibilidad hacia los sólidos en suspensión debido a que inhiben la granulación de lodos.

Mulyanto y Titiresmia (2002), realizaron en Indonesia la evaluación de un digestor anaerobio de lecho fijo para el tratamiento de aguas residuales de las industrias de almidón de yuca para la producción de biogás a escala de laboratorio, el reactor contenía como lecho fijo polietileno y pequeños fragmentos de PVC, además se utilizó como inóculo estiércol de vaca. El proceso presentó una eficiencia de degradación de DQO del 76% y 95.8% de DBO, así mismo se encontró un contenido de metano de 53.5-71% y una producción de biogás de 1.2 m³/m³ de agua residual. De acuerdo con esta investigación se estima que este sistema es altamente eficiente en la biodegradabilidad orgánica y de bajo costo ya que no requiere ningún tratamiento previo del sustrato o pH, temperatura,

condición de concentración o adición de nutrientes, y mantenimiento. Además se presenta como beneficio del proceso la obtención de biogás para la producción de combustible.

Las lagunas de estabilización también han sido estudiadas para el tratamiento de este tipo de agua residual; en Brasil Pissinatto *et al.* (2002) desarrollaron un estudio de un sistema en serie que constaba de tamices, tanques de sedimentación y lagunas anaerobias (una anaeróbica, dos facultativas y una de pulimento). En este estudio inicialmente se obtuvieron deficiencias en el tratamiento debido a la presencia de flujo preferencial hidráulico y sólidos en algunas zonas, lo que produjo una eliminación de carga orgánica reportada como DBO menor al 40%, una reducción del tiempo de retención hidráulico y la presencia de olores; para evitar estos inconvenientes se hicieron correcciones al sistema a través de ajustes microbiológicos utilizando microorganismos eficaces (M.E) los que contribuyeron a la obtención de eficiencias de remoción de DBO superiores al 80%. Las lagunas anaeróbicas presentan las ventajas de operar con bajos tiempos de retención hidráulicos, altas cargas contaminantes y grandes fluctuaciones en las características de los afluentes sin requerimiento de mezcla; de igual manera se presentan problemas en la liberación de gases como el ácido sulfhídrico (H_2S) el cual se puede evitar si se hacen los respectivos ajustes planteados en esta investigación.

Torres *et al.* (2003) realizaron un estudio en una rallandería en el norte del departamento del Cauca en donde se implementó un filtro anaerobio que funcionaba totalmente por gravedad con flujo ascendente (FAFA), esta investigación evaluó diferentes medios de soporte: cáscara de coco, anillos de guadua y un lecho mixto (residuos de ladrillera y cáscara de coco). El sistema de tratamiento contaba con un mecanismo de dosificación de cal apagada para la corrección de pH, además se utilizó como inóculo estiércol de vaca para el medio de cáscara de coco, y el lodo de este proceso sirvió como inóculo en los otros medios utilizados. De acuerdo con los resultados obtenidos, la cáscara de coco presentó mayores ventajas ya que mostró una amplia superficie específica para la adherencia de microorganismos, bajo peso específico, vida útil prolongada y bajo costo para su obtención. El estiércol de vaca mejoró la remoción de materia orgánica en comparación con los lodos, ya que estos tenían poca tendencia a la granulación y baja actividad metanogénica. De igual manera, en el proceso se manifestó inestabilidad en el pH lo que generó problemas de acidificación, además la presencia de mancha afectó ya que se formó una capa flotante que fácilmente se rompía y era arrastrada por el efluente; a pesar de los inconvenientes encontrados el sistema presentó para los tres medios de soporte una remoción del 60-70% de DQO y 75-90% de SST correspondiendo las eficiencias más altas a la cáscara de coco.

Torres *et al.* (2005a) llevaron a cabo un estudio para optimizar aspectos que normalmente afectan el desempeño de los filtros anaerobios tales como factores ambientales, operacionales y de diseño. Esta investigación fue realizada en un reactor a escala real en el corregimiento de Mondomo y planteaba como primera medida el acondicionamiento de las aguas residuales utilizando bicarbonato de sodio de acuerdo con las ventajas que presenta este compuesto con relación a otros alcalinizantes. Además se realizó un mejoramiento de las condiciones hidrodinámicas basados en un estudio de trazadores (Cloruro de litio) y se rediseñó el sistema colocando un falso fondo y tuberías perforadas para la evacuación de gases que evitaron el represamiento. Este sistema utilizó como inóculo estiércol de vaca y trabajó con un tiempo de retención hidráulico inicial de 24 horas, transcurridos 3 meses se obtuvo un tiempo de 12 horas con una eficiencia de

remoción de DQO del 70%, evidenciándose que la discontinuidad en el proceso de extracción de almidón no afecta la eficiencia pero si el periodo de arranque .

Torres *et al.* (2005b), reportaron en el departamento del Cauca tres plantas de tratamiento para este tipo de aguas residuales las cuales permitieron realizar una evaluación en cuanto al tipo de flujo (vertical u horizontal), los materiales de construcción (concreto, mampostería o taludes impermeables con geomembrana) y por último las condiciones operacionales a través de parámetros fisicoquímicos tanto en el afluente como el efluente. En este estudio se evaluó el primer filtro anaerobio a escala real que tenía como material de soporte cáscara de coco y como inóculo estiércol de vaca, además este sistema podía ser operado de forma vertical y horizontal forma en la que se presentaron mejores eficiencias de remoción de DQO. El filtro se construyó en mampostería debido a la fácil construcción y bajo costo. En cuanto a las condiciones operacionales, se obtuvo una remoción de DQO del 70% para un afluente que contenía 3190 - 5950 mg/L de DQO y DBO de 300 - 4700 mg/L. Este estudio determinó que para garantizar una tecnología viable se debe revisar el proceso de extracción de almidón con la implementación de un PML, además es necesario el acondicionamiento del agua residual para garantizar la capacidad buffer ya que este tipo de agua presenta una cantidad nula de alcalinidad bicarbonática, y se debe disponer de buenos lodos de inóculo que ayuden a mejorar las características de sedimentabilidad y actividad biológica.

Gopalakrishna(2007) en la India estudió a escala de laboratorio un reactor híbrido como una nueva alternativa para el tratamiento de estas aguas. Este reactor presentó la ventaja de trabajar como un sistema de lodos activados y al mismo tiempo como un biorreactor de lecho fluidizado; sus eficiencias de remoción se vieron afectadas por el aumento de la DQO y su valor osciló entre el 70-95% para un tiempo de retención hidráulico de 6 horas; concluyendo que para un tiempo de retención hidráulico específico la eficiencia de remoción disminuye con el aumento de la tasa orgánica y la velocidad de carga hidráulica.

Cajigaset *al.* (2007) realizaron el estudio de un filtro anaerobio de flujo horizontal a escala de laboratorio para tratar las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca, en este reactor evaluaron dos alcalinizantes: la cal hidratada y el bicarbonato de sodio. Este desarrollo experimental demostró que las máximas eficiencias de remoción de DQO ocurrieron en los periodos en que se empleó bicarbonato de sodio, ya que este ofreció mejores beneficios en términos de aporte de alcalinidad bicarbonática y capacidad buffer necesarias para garantizar la estabilidad del sistema anaerobio.

Colinet *al.* (2007), desarrollaron un filtro anaerobio de flujo horizontal (a escala de laboratorio) compuesto de piezas de bambú el cual fue evaluado para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca. El reactor fue operado para 6 meses y fue inoculado con lodo semigranular obtenido de un reactor UASB anaerobio de un matadero. La tasa de carga orgánica (OLR) máxima empleada fue de 11.8 g DQO/Ld sin dilución de las aguas residuales. En estado estacionario y OLR máxima aplicada, se logró una remoción del 87% de la DQO y se logró una productividad de gas de 3,7 L /Ld. El rendimiento de biogás promedio fue de 0,36 L/g DQO eliminada. El contenido de metano encontrado en el biogás oscilaba entre el 69% – 81% y los sólidos suspendidos totales (SST) eliminados fueron del 67%. Demostraron también que el alto contenido de ácido láctico no influyó negativamente en el rendimiento del reactor, además no se observó ninguna perturbación debido al cianuro (3-5 mg/L) durante el

funcionamiento del reactor. Los resultados obtenidos en su experimento indicaron que el filtro anaerobio de flujo horizontal podría utilizarse eficazmente para el tratamiento de este tipo de aguas residuales.

Ubalua (2007) realizó diversos estudios sobre la descomposición anaerobia de los residuos que se generan en un biodigestor, conformados por una fracción líquida llamada biol y una fracción sólida o biosol, las cuales son excelentes fertilizantes para diversos cultivos. Estos estudios determinaron que los desechos producidos en el proceso de extracción del almidón de yuca pueden procesarse y convertirse en componentes de gran valor agregado tales como metano (biogás), alimento para cerdos, etanol, surfactante y fertilizantes, etc. demostrando que los residuos presentan gran viabilidad técnica y nutricional. Este estudio también aborda los tratamientos biológicos que se le han practicado a las aguas residuales en algunas fábricas de almidón en Tailandia, Brasil, Vietnam y Kerala en la India, que se basan en un proceso sencillo en el que poblaciones mixtas de microorganismos utilizan los nutrientes de los residuos con tiempos de contacto suficientes para que puedan romper y quitar el material orgánico a un nivel deseable.

Inoue (2008) analizó el proceso de digestión anaerobia del agua residual generada en la extracción del almidón de yuca, implementando biodigestores por lotes con el fin de obtener biogás y biofertilizante para su caracterización y explotación agrícola. En este estudio se realizaron análisis como: sólidos totales (ST), sólidos fijos (SF) y sólidos volátiles (SV) al afluente y efluente modificado con la adición de corteza de yuca en tres distintas concentraciones que afectó los sólidos totales. De acuerdo con los resultados se verificó que la mayor reducción de ST y SV se observó a una concentración de ST igual a 4.5 dag/L, además el mayor potencial para la producción de biogas con 1.39 L/Kg de SV removidos fue observado en la concentración de 80 g/L de ST.

Savithaet *al.* (2009) estudiaron el tratamiento de las aguas residuales por métodos biológicos y determinaron que estos tienen un amplio alcance y son una opción rentable en comparación con otras alternativas como el uso de químicos. Demostraron que los métodos biológicos presentan una alta eficiencia en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). La principal ventaja del tratamiento anaeróbico del agua residual siempre ha sido su potencial de producción de metano y su bajo rendimiento en la producción de lodos. Debido a las ventajas económicas y técnicas, en esta investigación se diseñó una planta de tratamiento con tecnología amigable, rentable y ecológica, que utilizó un tratamiento biológico con hongos *Graphiumputredinis*, *Trichoderma*, *Harzianum* y *Fusant* para tratar los efluentes de la fabricación de sagú, que es una variedad de almidón.

Van den Broeck *et al.* (2009) evaluaron la estabilidad de los lodos activados, mediante la realización de tres experimentos en los cuales se llevó un control físico, microscópico y bioquímico del lodo activado; que les permitió demostrar que es posible cuantificar de forma clara su estabilidad a través del monitoreo con imágenes de la longitud del filamento promedio total, de la determinación del índice de volumen de lodos y de la máxima velocidad específica de consumo de oxígeno. El objetivo de su trabajo fue proponer una estrategia que evaluó los cambios en los procesos de lodos activados basados en criterios y variables medibles relacionadas con la estabilidad funcional de los microorganismos. Una vez que la población de lodo activado alcanzó un estado funcional

estable, pudieron estudiar el verdadero impacto de las condiciones de prueba sin interferencia de los fenómenos de adaptación.

5.2 PROCESO DE AIREACIÓN²

El oxígeno es un componente esencial en el metabolismo de microorganismos aerobios y éste debe disolverse en soluciones acuosas junto con otros nutrientes con el fin de ser asimilados. El aporte de oxígeno a un agua se efectúa por contacto íntimo entre el aire y el agua. En la superficie de contacto de los dos fluidos, la capa límite mono molecular se satura de oxígeno desde el momento de su formación, al mismo tiempo que se inicia la difusión de gas hacia capas de agua más profundas.

El propósito de la aireación y agitación en una planta de tratamiento de agua es proporcionarle a los microorganismos el oxígeno necesario y mezclarlos de tal modo que se forme una suspensión uniforme de microorganismos y sólidos. Por otro lado, a través de la aireación y agitación, la velocidad de transferencia de masa y la obtención del producto metabólico pueden aumentar.

En la industria, trabajar en las mejores condiciones de mezcla puede ser la clave para una productividad y calidad mejor. El diseño de tanques agitados incluye equipos de construcción aparentemente simples y de costos relativamente reducidos en relación a otros equipos en una planta industrial. Además, en algunos casos la agitación representa la etapa controladora del proceso y, por eso, los sistemas de agitación deben ser adecuadamente dimensionados para llevar a un buen desempeño del mismo.

En los procesos aerobios convencionales, como los utilizados en el tratamiento biológico de las aguas residuales, el oxígeno es suplido por medio de aireación y agitación continua. El objetivo principal de la agitación y de la aireación es suplir a las células presentes en el medio de una cantidad de oxígeno necesaria, con el fin de hacer posible la realización de sus actividades metabólicas. La segunda función es la de mantener a los microorganismos en suspensión, obteniéndose así una buena mezcla del medio y dispersión de las células, procurando mejorar los procesos de transferencia de la cantidad de movimiento, calor y masa del sistema.

5.3 PROCESO FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)³

El Filtro Anaerobio es un reactor en cuyo interior se dispone de un medio de soporte (lecho), con flujo ascendente o descendente y régimen de flujo básico de tipo pistón. Es una de las alternativas de mayor aplicación para aguas residuales industriales de concentración media y alta (superior a 1500 DQO mg/L) y con buen desempeño en el tratamiento de desechos del procesamiento de la carne, la leche, ácido láctico (presente en cantidades elevadas en residuos fácilmente acidificables como las del proceso de extracción de almidón de yuca) y de otros productos agroindustriales como la caña de azúcar y el café. En este tipo de reactor, la remoción de la materia orgánica ocurre a lo largo de toda la altura del medio de soporte; por tal razón se recomienda que deben ser construidos preferiblemente con alturas superiores a 2.5 metros. En el tratamiento de

²CHÁVEZ, M. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala, 2004.

³ Torres *et al.*, Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. 2003.

efluentes más diluidos, la remoción de materia orgánica ocurre principalmente en la parte inferior del filtro anaerobio, pudiéndose usar alturas más reducidas de medio de soporte.

El uso de medio de soporte en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior del mismo, a través del biofilme formado en su superficie y, principalmente, en los intersticios del lecho. Este material generalmente ocupa entre 50 a 70% de la altura total del reactor. Las principales finalidades del medio de soporte, son:

- Mejorar el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Facilitar un flujo uniforme en el reactor.
- Permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa.
- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento.
- Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.

El medio de soporte puede estar constituido por materiales como piedras, bloques cerámicos, espumas, materiales plásticos, conchas de ostras y mejillones, bloques modulares de PVC, granito, esferas de polietileno y bambú. En este trabajo se probará un medio soporte que no ha sido evaluado previamente en efluentes de rallanderías: botellas plásticas y retales de neumático, lo que posibilita la reutilización de dichos materiales, además de sustentar la biopelícula en el tratamiento anaeróbico.

5.4 PROCESO FILTRO PERCOLADOR⁴

El proceso de filtración biológica puede definirse como un sistema de lechos de distintos materiales sobre los cuales se vierten de una manera continua o intermitente las aguas residuales. Al percolar por el lecho del material granular las aguas residuales entran en contacto con las películas de limo biológico que crecen sobre la superficie del material. En el lecho se mantienen condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire a través del lecho, el cual es inducido por los gradientes de temperatura existentes entre la temperatura del aire en el lecho y la temperatura ambiental. Ocasionalmente es necesario forzar la ventilación del lecho, para lo cual se pueden emplear equipos similares a los extractores de aire.

A medida que las aguas residuales y el aire fluyen a través del lecho, el limo biológico hace uso de ellos para obtener de los compuestos orgánicos la energía necesaria para sus procesos vivientes, material y energía para sintetizar nueva masa celular, el oxígeno necesario para las reacciones de oxidación bioquímica y los nutrientes indispensables para la síntesis celular. Como resultado, al igual que en los otros procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, se logra la remoción de la materia orgánica mediante su conversión a masa celular, CO₂ y H₂O. La acumulación de crecimiento biológico sobre la superficie del medio que constituye el lecho tiene un límite, al cabo del cual se desprende y es arrastrado con el efluente del filtro percolador. Por tal razón se requiere como

⁴VALENCIA, G. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

complemento de este proceso biológico un sedimentador secundario donde se remueven las películas biológicas que se desprenden del lecho.

Este tipo de proceso de tratamiento ha sido bastante utilizado por municipalidades con población entre 2000 y 30.000 habitantes y por industrias con una población equivalente similar. Los costos de inversión inicial y de operación son bajos, lo cual los hace bastante atractivos. Su operación es bastante simple cuando se le compara con otros procesos fisicoquímicos o biológicos de tratamiento de aguas residuales, lo que implica que no se requiera personal altamente calificado para controlar su operación.

La eficiencia de todo el sistema de filtración biológica puede variar entre un 60 y un 85%, dependiendo de las características de las aguas residuales, de las cargas hidráulica y orgánica que se le apliquen al filtro percolador. Son pues unidades de tratamiento que pueden ser utilizadas cuando la capacidad efectiva de asimilación de contaminación que tenga una corriente, permita tales niveles de eficiencia del tratamiento biológico.

5.5 ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DEL ALMIDÓN AGRIO DE YUCA⁵

Este proceso consiste en una serie de operaciones que por vía húmeda consiguen la extracción del almidón contenido en las raíces de la yuca, este almidón se somete a una fermentación anaeróbica y posteriormente a un secado con luz solar. Las operaciones del proceso, en la secuencia en que éste se desarrolla, son las siguientes:

5.5.1 Lavado y pelado de raíces

Las raíces que llegan a la rallandería en sacos de almacenamiento de aproximadamente 80 a 90 Kg, son depositadas cerca a la lavadora de raíces; un operario vacía los sacos en la tolva de la lavadora; esta tolva se encuentra en uno de los costados del tambor o cilindro giratorio de la máquina. Las raíces se asperjan con agua dentro del tambor para retirar de ellas la tierra y las impurezas que traen y para facilitar la evacuación de esos residuos. La cascarilla o piel delgada de color café, adherida a las raíces, se separa gracias a la fricción de unas raíces con otras y contra la pared interna del cilindro que gira. La cascarilla pasa por los orificios del cilindro y es evacuada junto con las impurezas, seguidamente el agua de lavado se recoge en una estructura de mampostería y se conduce por tubería hacia un área de filtración, donde la cascarilla es recuperada.

5.5.2 Rallado de raíces

Las raíces caen en un tanque de almacenamiento cuyo fondo tiene una rejilla; este tanque conduce a la tolva de la ralladora a la cual un operario se encarga de llevar las raíces, el contacto directo de éstas contra la superficie rugosa y cortante del tambor del rallo en rotación causa la desintegración necesaria de las células del tejido amiláceo de la raíz para que éstas liberen los gránulos de almidón. Durante el rallado se hace aspersión con agua a la superficie interna del tambor para lavar permanentemente los elementos cortantes y para conformar una masa acuosa de fácil transferencia hacia la coladora. Un tanque situado debajo del rallo recibe la masa rallada hasta que ésta pasa a la coladora.

⁵Rivier *et al.*, CIAT, 2001.

Este tanque generalmente está situado en un nivel superior de la coladora, lo que permite cargar directamente la masa rallada por gravedad, facilitando así el proceso.

5.5.3 Separación de la lechada de almidón

En esta operación se separan los granos de almidón de la masa rallada (pulpa) mediante un profuso lavado de la pulpa con agua. El operario libera la pulpa que se encuentra en el tanque de almacenamiento y la dirige hacia la canaleta pivotante (o cuchara principal de la coladora) que en la posición de carga permite el flujo de la pulpa hacia el cilindro rotatorio de la coladora. Por medio de una tubería perforada a manera de flauta, se introduce suficiente agua, de manera uniforme y radial, en el interior del tambor; lográndose así un buen lavado de la pulpa y una adecuada recuperación del almidón disuelto en la lechada.

5.5.4 Tamizado de la lechada de almidón

La lechada de almidón sale de la coladora y fluye hacia un tamiz plano ligeramente inclinado, que ejecuta un movimiento de vaivén. La lechada pasa por los orificios del tamiz, pero las fibras finas (que lograron pasar por la malla de la coladora) son retenidas en él. Estas fibras se denominan 'afrechillo'. El vaivén de la operación desplaza el afrechillo hacia un extremo del tamiz, donde es recogido en un conducto que lo lleva al tanque de almacenamiento del afrecho.

5.5.5 Sedimentación de los gránulos de almidón

La sedimentación se basa en el principio de la precipitación selectiva de la suspensión de almidón en movimiento. En un canal determinado, la velocidad del fluido establece el tiempo de retención y debe permitir solamente la sedimentación de los granos de almidón; los materiales más livianos (proteínas, fibras, impurezas, etc.) no se sedimentan y salen con las aguas residuales. Por consiguiente, para obtener un sedimento limpio de almidón y evitar al máximo las pérdidas de almidón a la salida del canal se ajustan el caudal de la suspensión (la lechada) y la profundidad de la lámina de agua en el canal. La sedimentación selectiva depende de la densidad de las partículas de la suspensión permitiendo diferenciar también el almidón según el tamaño de sus granos, a lo largo del canal.

5.5.6 Fermentación

El almidón obtenido en la etapa anterior es depositado en tanques de fermentación donde permanece alrededor de 15 días, pero en algunas rallanderías este tiempo es de 45 a 60 días ya que se busca que el almidón adquiera ciertas propiedades como: poder de expansión y aroma, las cuales son necesarias para la elaboración de productos de panadería. En épocas de invierno el almidón permanece en estos tanques durante periodos de 3 a 4 meses sin que su calidad se vea afectada.

Estos tanques por lo general deben llevar una capa de agua de 5 a 10 cm para que recubra permanentemente el almidón, a la cual se le puede añadir agua obtenida de los tanques de fermentación usados anteriormente o agua sobrenadante del tanque de

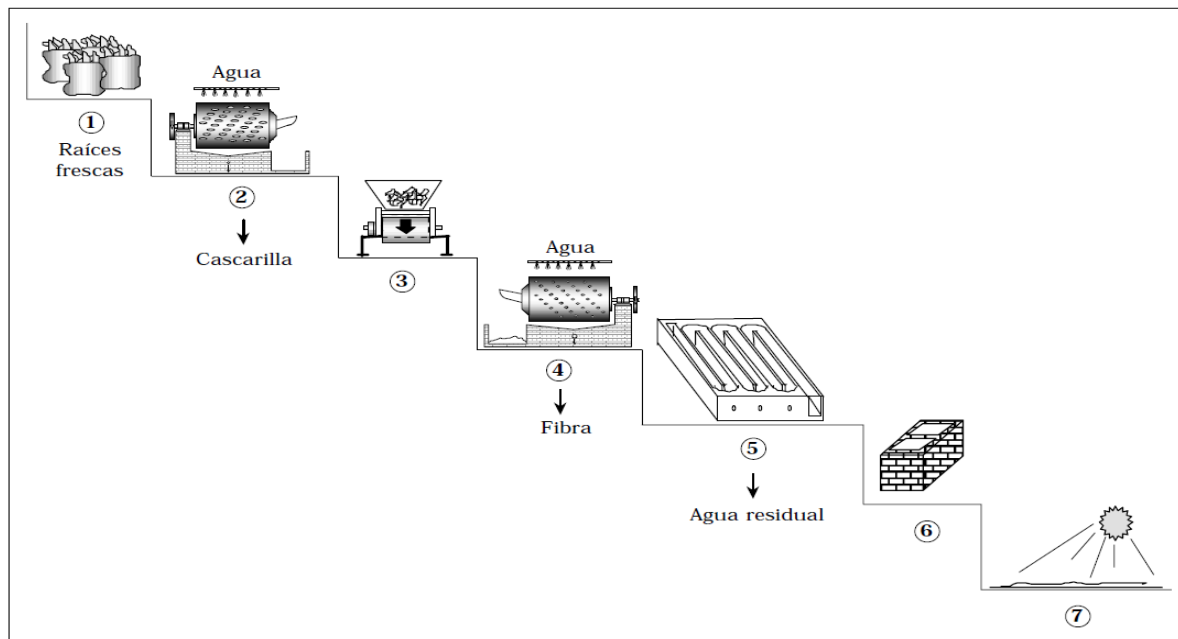
sedimentación, siempre y cuando haya transcurrido el tiempo necesario para la sedimentación de la mancha, con el fin de acelerar la fermentación.

5.5.7 Secado

El almidón forma una masa muy compacta en los tanques de sedimentación y esta es transportada por los operarios a los patios de secado, los cuales son pavimentados y recubiertos por una lámina de plástico de color negro. En la mayoría de las rallanderías el almidón es desmenuzado con las manos y por pisoteo por los operarios (patieros). El almidón proveniente de los tanques de sedimentación posee una humedad aproximada del 55% y el objetivo de la implementación de los patios de secado es reducirla entre el 12 y el 14% valores típicos de un almidón comercial.

La siguiente figura representa una instalación que aprovecha la gravedad para desarrollar el proceso de extracción de almidón de yuca:

Figura 1. Proceso general de extracción del almidón de yuca.



Fuente: Riviere *et al.* (2001). 1 = Recepción de raíces, 2 = Lavadora, 3 = Rallo, 4 = Tamiz extractor de almidón, 5 = Canales de sedimentación, 6 = Tanques de fermentación, 7 = Área de secado.

5.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

Para la caracterización de los efluentes de las rallanderías se considerarán las siguientes determinaciones fisicoquímicas:

5.6.1 Temperatura

A diferencia de las aguas residuales domésticas, las descargas industriales pueden tener temperaturas muy por encima de la temperatura ambiente. Estas aumentan las temperaturas de las aguas receptoras y reducen la solubilidad del oxígeno. El aumento de la temperatura por los vertimientos puede afectar las tasas metabólicas positivamente (posiblemente el doble por cada subida de 10°C en la temperatura) pero el elevar las temperaturas también reduce la solubilidad del oxígeno en el agua. Esto significaría una demanda creciente de oxígeno mientras disminuye su disponibilidad (WunJern, 2006).

5.6.2 pH

El intervalo de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello la mayoría de los efluentes de las aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH (Crites y Tchobanoglous, 2000).

5.6.3 Conductividad eléctrica

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura. La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua residual, su valor es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de estas aguas a cuerpos receptores.

5.6.4 Oxígeno disuelto

La presencia del oxígeno disuelto en el agua es una condicionante fundamental para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, demanda química de oxígeno de materiales orgánicos y sedimentos, de aireación, sobresaturación y reducción de orgánicos. La baja solubilidad del oxígeno es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales y obliga a efectuar tratamiento de las aguas residuales para remover la materia contaminante, antes de descargar en los cuerpos receptores.

5.6.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. Tres actividades más o menos diferenciadas pueden ocurrir. Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la

materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular, este tercer proceso es llamado respiración endógena (Crites y Tchobanoglous, 2000).

5.6.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras como la materia orgánica, presente en aguas residuales necesitan para su descomposición sin intervención de los microorganismos. Esta prueba al igual que la DBO₅ es ampliamente usada para medir el grado de contaminación del agua residual de una fuente superficial.

5.6.7 Sólidos suspendidos totales (SST)

La determinación de estas variables es de gran importancia porque permite establecer la distribución de las partículas en el agua residual según su tamaño; esta información es determinante para evaluar los procesos de tratamiento (p. ej., sedimentación secundaria, filtración de efluentes y desinfección). La información del tamaño de las partículas orgánicas biodegradables es de importancia desde el punto de vista del tratamiento, debido a que la velocidad de degradación biológica de estas partículas depende de su tamaño (Crites y Tchobanoglous, 2000).

5.7 CONTAMINACIÓN CAUSADA POR EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN

En el Departamento del Cauca, la mayoría de las rallanderías se concentran en el Municipio de Santander de Quilichao, siendo la zona del Departamento que recibe el mayor impacto de contaminación hídrica por este tipo de efluentes, afectándose las quebradas La Chapa, La Agustina, Quimbas o la Cascada, Tiembra, Mastizal y Mondomo pertenecientes a las Subcuencas de los ríos Quinamayó y Ovejas (Caicedo y Gómez, 2004; citados por Torres *et al.*, 2005b).

La calidad y cantidad de los residuos generados en el proceso de extracción de almidón de yuca varían significativamente, debido a factores como edad del tubérculo, tiempo de almacenamiento, tipo de proceso utilizado, etc. Las aguas residuales generadas presentan una elevada carga orgánica medida como DQO y DBO₅, además de una elevada presencia de sólidos disueltos y compuestos cianurados de alta toxicidad. La cantidad de agua utilizada en el proceso de extracción puede variar notoriamente de acuerdo al periodo de producción generándose residuos con una DQO del orden 2500 – 5500 mg/L, que representan una carga contaminante de 15.5 y 3.5 ton/día de DQO y DBO₅ respectivamente (Torres *et al.*, 2003).

En el proceso se generan dos tipos de aguas residuales: las que provienen del lavado y pelado de la yuca que se caracterizan por contener gran cantidad de sólidos suspendidos (material inerte y cascarilla) y valores de DQO altos como se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Concentración de DQO y SST en la etapa de lavado y pelado

Parámetro	Agua residual de lavado y pelado
DQO (mg/L)	5424
ST (mg/L)	5333

Fuente: Torres *et al.*, 2005a.

Las aguas residuales provenientes de los canales o tanques de sedimentación, presentan altas cargas orgánicas de DBO₅ y DQO. Estas aguas se caracterizan por ser fácilmente acidificables; el efluente de los canales de sedimentación presenta bajos niveles de pH y prácticamente ausencia de alcalinidad bicarbonática, además de elevada acidez.

Las concentraciones de metales pesados, cianuro y fenoles se encuentran en límites inferiores a los niveles considerados inhibitorios en procesos biológicos. El efluente del tanque de mancha presenta características muy similares a las de la salida de los canales de sedimentación del almidón, con excepción de los Ácidos Grasos Volátiles (AGV) que se elevan debido probablemente a una acidificación natural del material, lo que incrementa la acidez y reduce el pH. Adicionalmente, aunque el material sedimentable presente a la entrada del tanque de mancha se retiene de manera eficiente en este tanque, la DQO, la DBO₅ y los ST continúan elevados debido a que la materia orgánica está constituida fundamentalmente por material disuelto (Torres *et al.*, 2005a).

Tabla 2. Características fisicoquímicas del agua en las etapas de sedimentación.

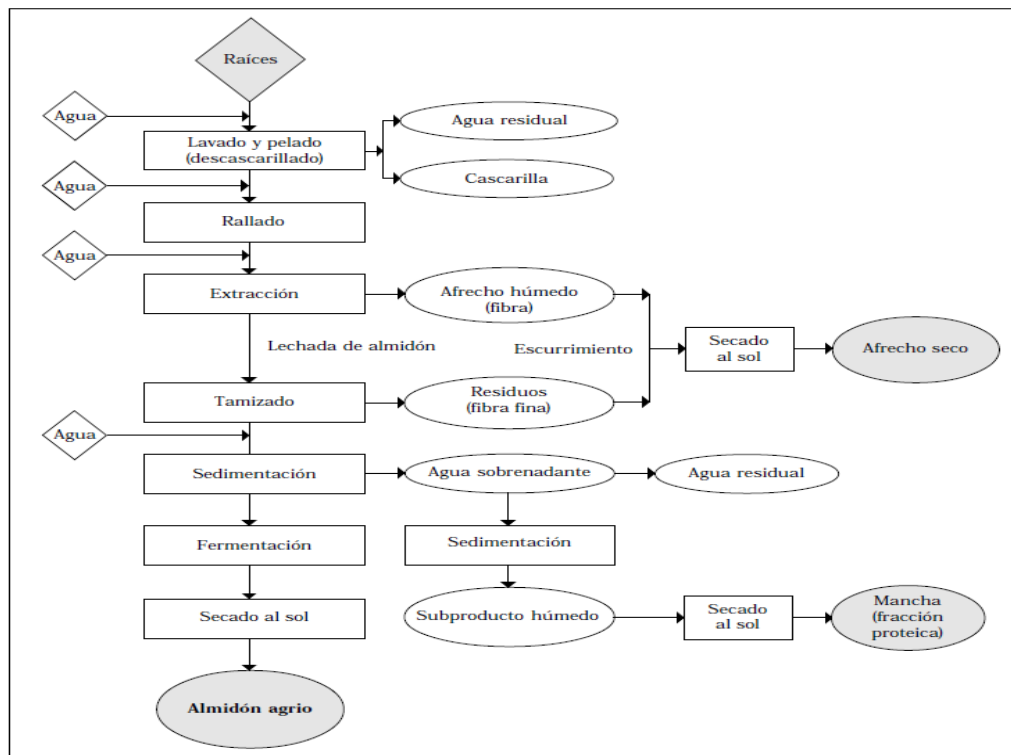
Parámetro	Unidades	Salidas de canales de sedimentación de almidón. Rango de variación	Salidas de canales de sedimentación de mancha. Rango de variación
pH	-	4.1 – 5.5	4.1 – 4.4
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	0 – 160	0 – 10
AGV's	meq/L	6.0 – 9.0	12.6 – 31.8
DQO	mg/L	3600 – 6000	3400 – 5400
DBO ₅	mg/L	1886 – 2500	1876 – 2459
ST	mg/L	2845 – 5744	2075 – 3500
SST	mg/L	100 – 1370	330 – 1180
STV	mg/L	2398 - 4090	1700 – 3125
SD	mg/L	2745 – 4374	1745 – 2320
SS	mg/L – hora	30 - 80	0.8 – 15
Cianuros	mg CN/L	0.02 – 0.16	0.1 – 0.4
Nitrógeno Total	mg NTK/L	130 - 201	136 – 196.6
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /L	14.9 – 51.5	14.7 – 63.5
Nitritos	mg NO ₃ /L	0.2 – 0.9	0.8 – 2.0
Nitratos	mg NO ₂ /L	0.4 – 1.5	0.4 – 0.9
Fósforo Total	mg P/L	24.8 – 41.8	22.2 – 47.8

Fuente: Torres *et al.*, 2005a.

Mientras tradicionalmente el afrecho y la mancha han tenido un valor agregado por ser fuentes ricas en energía y proteína, siendo utilizados en la industria de alimentos

concentrados para animales y en la alimentación directa de cerdos y otros animales de fincas de la región, con una producción promedio de 4450 ton/año de afrecho seco y 750 ton/año de mancha seca (Torres *et al.*, 2005b), las aguas residuales normalmente han sido descargadas a los cuerpos receptores, causando un significativo impacto negativo sobre los mismos, lo que se ha reflejado en la inhabilidad de estas fuentes para otros usos. La siguiente figura muestra los diferentes procesos en la extracción del almidón agrio de yuca, evidenciándose en cada uno de estos la utilización de agua con la respectiva generación del agua residual.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de yuca



Fuente. Rivieret *al.*, 2001.

5.8 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBICADA EN EL PEDREGAL - CORREGIMIENTO DE MONDOMO

5.8.1 Ubicación

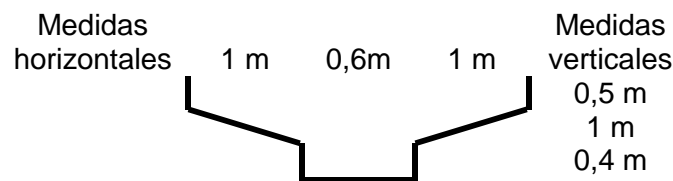
La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) está ubicada en el norte del departamento del Cauca, municipio de Santander de Quilichao corregimiento de Mondomo, localizada en la vereda El Pedregal y delimitada por la quebrada San Pablo a la cual le llega el cauce de la quebrada “Tiembra”.

5.8.2 Características de la PTAR

5.8.2.1 Tratamiento primario

La PTAR construida en el Pedregal es una planta piloto que trabaja con efluentes de cinco rallanderías, las cuales en jornadas de producción arrojan un caudal aproximado de 3 L/s. Como tratamiento primario la PTAR cuenta con dos sedimentadores de mancha ubicados en paralelo que trabajan alternamente, cuentan con una única entrada (Ver Anexo E, Fotos 1 y 2) y una sola salida de las aguas residuales que llegan directamente a estas unidades por medio de una tubería de 6 pulgadas de PVC mientras que el efluente de los sedimentadores es transportado por medio de una tubería de 3 pulgadas de PVC tipo sanitaria a las unidades biológicas. Cada sedimentador tiene un volumen de 17.82 m³ el cual tiene la siguiente forma y dimensiones:

Figura 3. Dimensiones del sedimentador de mancha (corte transversal).



Estas unidades tienen un largo de 6.75 m y trabajan con un tiempo de retención hidráulico de 200 minutos. La planta cuenta con una tubería de paso directo o “bypass” de PVC tipo sanitaria de 4 pulgadas la cual está ubicada a la salida del sedimentador de mancha.

5.8.2.2 Tratamiento secundario

Del sedimentador de mancha el efluente se dirige a las unidades de tratamiento biológico aerobio y anaerobio las cuales cuentan con su propia línea de conducción y están diseñadas con un caudal de 0.6 L/s. Este efluente pasa directamente al filtro percolador, mientras que a las demás unidades pasa por medio de una cámara de inspección la cual conduce el flujo hacia otras cámaras ubicadas a la entrada de las diferentes alternativas de tratamiento.

Los efluentes de las unidades de tratamiento secundario, después de pasar por las cámaras de inspección ubicadas en la salida, son conducidos por medio de una tubería general de 4 pulgadas de PVC tipo alcantarillado la cual se conecta a otra cámara en donde el agua tratada es evacuada por medio de una tubería de 6 pulgadas de PVC tipo alcantarillado hacia el cabezal de descarga. Las cámaras de inspección tienen dimensiones de 0.70 m x 0.70 m y una profundidad de 0.77 m, con tapa de concreto reforzado de 0.60 m x 0.60 m.

Entre las unidades anaerobias se encuentran:

5.8.2.2.1 Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs)

Estudios previos sobre la degradación anaerobia de efluentes de rallanderías han sido realizados por Altamirano (1995), Oviedo (1995), Torres *et al.* (2003), Universidad del

Cauca (2005, 2006), CRC (2006) probando su viabilidad como etapa de tratamiento para líquidos provenientes de rallanderías.

Los FAFA constan de dos sistemas de ROTOPLAST de 10,000 litros (Ver Anexo E, Fotos 9 – 11) trabajando en paralelo con un caudal de 0.3 L/s. Los filtros poseen un diámetro de 1.66 m y en su interior cuentan con un lecho filtrante de 1.26 m de altura; el agua es evacuada por una tubería perforada de 3 pulgadas tipo sanitario a lo largo del filtro, las tuberías a la salida de cada filtro están conectadas a una caja de inspección que conduce el flujo a la tubería general. Cada filtro tiene diferente lecho filtrante, una de las unidades tiene como medio de soporte botellas plásticas y la otra unidad tiene botellas plásticas y adicionalmente retales de neumático. El tiempo de retención hidráulico con el que trabaja cada filtro es de 9 horas.

En cuanto a las unidades aerobias la PTAR cuenta con:

5.8.2.2.2 Filtro percolador

La línea de esta unidad consta del filtro percolador con tres sedimentadores secundarios que trabajan en serie. El efluente del sedimentador de mancha es bombeado al filtro por medio de una electro bomba sumergible de 1 HP de 220 voltios con capacidad de bombeo de 2 L/s, ya que por las condiciones topográficas no se puede realizar por gravedad. El filtro percolador consta de un tanque cilíndrico vertical con capacidad de 6000 litros, el agua residual es aplicada por medio de un brazo distribuidor móvil que funciona gracias a la presión ejercida por el agua suministrada (Ver Anexo E, Fotos 12 – 14). El medio de soporte del filtro se compone de botellas plásticas con una altura aproximadamente de 1.50 m.

5.8.2.2.1 Sedimentador secundario

Esta unidad cuenta con tres tanques cilíndricos verticales prefabricados de 2000 litros, los cuales funcionan en serie y están conectados entre sí por una tubería de PVC tipo sanitaria de 3” de diámetro, que conduce el flujo a la respectiva caja de inspección para su posterior evacuación hacia el cabezal de descarga. El tiempo de retención hidráulico es de 2 horas.

5.8.2.2.3 Proceso de aireación

Cuenta con tres tanques cilíndricos verticales prefabricados de 2000 litros cuyo funcionamiento es en serie conectados entre sí por una tubería de PVC tipo sanitaria de 3” de diámetro que llega a la cámara de inspección (Ver Anexo E, Fotos 6 – 8). A estos se les suministra oxígeno en diferentes proporciones, el cual puede variar de acuerdo al funcionamiento de dichas unidades, utilizando un equipo de aireación compuesto de sopladores, un compresor y un sistema de distribución. El efluente de estas unidades es conducido a los sedimentadores secundarios los cuales tienen las mismas características mencionadas anteriormente para el filtro percolador.

Es preciso mencionar que la planta además de las unidades de tratamiento mencionadas anteriormente, cuenta con estructuras alternas que sirven de apoyo al mantenimiento y operación de la ésta como por ejemplo, una caseta para resguardar los equipos entre los

que se encuentran compresores y bombas, además cumple la función de almacenamiento de materiales (Ver Anexo E, Fotos 16 -19).

6. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este estudio se procedió a desarrollar la siguiente metodología:

6.1 Localización de la PTAR

La investigación se realizó en la PTAR localizada en el corregimiento de Mondomo ubicado en la zona sur a 16 Km. del municipio de Santander de Quilichao en el sector norte del departamento del Cauca. La cabecera municipal se encuentra a 97 Km. al norte de Popayán y 45 Km. al sur de Santiago de Cali, se localiza a los 3º de latitud norte y a los 74º 54' de longitud al oeste de Greenwich y a una altitud de 1071 m.s.n.m. Este municipio cuenta con un área total de 518 km², se encuentra entre los pisos térmicos frío y cálido, su temperatura promedio mensual es 23.5°C, una precipitación anual promedio de 1362 mm y una humedad relativa que oscila entre el 60 y 70% dentro del territorio municipal considerada como moderadamente alta (Plan básico de ordenamiento territorial - 2000).

6.2 Acondicionamiento de los sistemas

Al agua que entra a los sistemas se le realizó un ajuste de alcalinidad agregando 5 Kg de óxido de calcio o cal viva (CaO) a un tanque con capacidad de 500 L de agua (potable) ubicado en la salida del sedimentador de mancha (Ver Anexo E, Fotos 3 - 5), la mezcla se realizó manualmente hasta que el compuesto alcanzó un alto grado de solubilidad en el agua para posteriormente ser suministrada al efluente por medio de un flotador de cabezal fijo empleado para regular el caudal. Una vez ajustada la alcalinidad, el agua residual se hizo circular por cada una de las tecnologías implementadas.

6.2.1 Sistema de aireación

Para estos sistemas inicialmente se agregó al primer tanque 1 litro de una sustancia denominada Organismos Efectivos EM1 con el fin de acelerar la formación de lodo. Para el desarrollo de este procedimiento se suspendió el flujo de entrada y la aireación por un periodo de 24 horas; transcurrido este tiempo se restableció el flujo pero con el 50% de su operación normal y después de un periodo de igual duración finalmente se procedió a trabajar con la totalidad del caudal de funcionamiento. Como medida adicional y transcurrido un mes aproximadamente se inoculó esta unidad (primer tanque) de la misma forma, con lodos obtenidos de la PTAR que funciona en las instalaciones de Alpina S.A. en la ciudad de Popayán. Esta aplicación se realizó dos veces en un mes y en cada sesión se agregó un volumen de lodos aproximado de 36 galones.

6.2.2 Filtros anaeróbicos

Como primera medida se llevó a cabo el acondicionamiento de los filtros anaerobios utilizando como medio de soporte botellas plásticas y retales de neumático los cuales se mezclaron para adicionarlos en una de las unidades, mientras que en la otra únicamente se agregó botellas plásticas. Para inocular los filtros se utilizó una cantidad aproximada de 75 Kg de estiércol de caballo, este inóculo se obtuvo en ‘Caballo de Copas’ un establo ubicado en el norte de la ciudad de Popayán.

6.2.3 Filtro Percolador

Para el acondicionamiento de esta unidad se agregaron botellas plásticas recortadas y retales de neumático alcanzando una altura del lecho aproximada de 1.5 m. Además se reguló por medio de válvulas el caudal bombeado a esta unidad, de tal forma que el brazo distribuidor móvil del agua residual girara con la velocidad adecuada para conservar el caudal de diseño.

6.3 Plan de muestreo

Los aforos de caudal y la determinación de los parámetros in situ así como la toma de muestras fueron realizados por los estudiantes encargados del presente estudio, dichas muestras se analizaron en el laboratorio de la CRC.

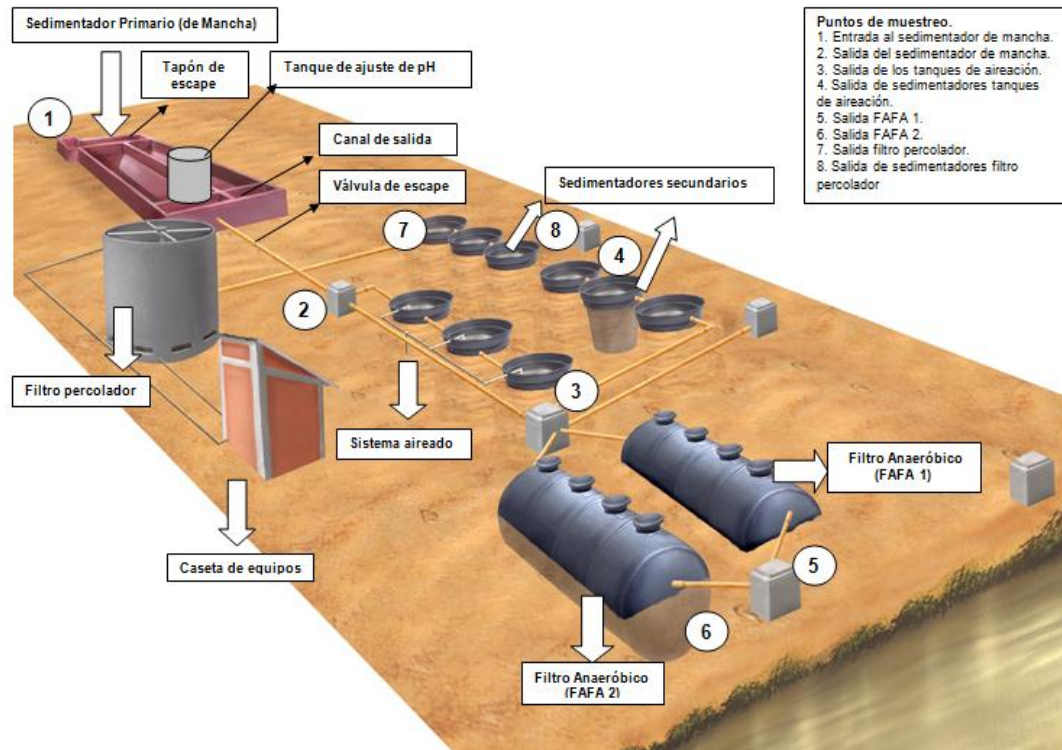
Para la caracterización de los efluentes de las unidades aerobias y anaerobias se realizó la toma de muestras en los puntos señalados en la Figura N°4, el muestreo se desarrolló por un periodo aproximado de 4 meses cuyas fechas se especifican a continuación:

Tabla 3. Fechas de muestreos.

JORNADA DE MUESTREO	FECHA (2011)
1	Agosto 30
2	Septiembre 6
3	Octubre 4
4	Octubre 11
5	Noviembre 15
6	Noviembre 17
7	Noviembre 22
8	Noviembre 24
9	Noviembre 29
10	Diciembre 1
11	Diciembre 7
12	Diciembre 13

Fuente: Propia

Figura 4. Puntos de muestreo.



Fuente: Propia – CRC.

A los afluentes y efluentes de las unidades estudiadas se les realizó un aforo de caudal en los puntos señalados en la Figura N°4, para tal propósito se empleó el método volumétrico constituido por 4 ensayos y 5 replicas en cada uno, a intervalos de 1 hora y media aproximadamente las cuales permitieron obtener un valor de caudal confiable.

A las diferentes tecnologías empleadas se les realizó las siguientes determinaciones:

- In situ: Utilizando un medidor multiparámetro con sondas sumergibles se determinó la temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica de las muestras instantáneas.
- Ex situ: Se tomaron muestras puntuales al afluente y efluente cada hora y media durante 6 horas para obtener una muestra compuesta, a la cual se le realizó un análisis de laboratorio en la CRC, con el fin de obtener información sobre: DBO₅, DQO y SST. La muestra compuesta se depositó en una nevera de icopor la cual garantizó una temperatura de 4°C aproximadamente para su conservación.

Las tablas N° 4 y N° 5 especifican los parámetros evaluados así como su determinación y frecuencia de análisis durante el periodo de arranque.

Tabla 4 Parámetros medidos in situ.

PARÁMETRO	NÚMERO DE MEDICIONES	TIPO DE MEDICIÓN	EQUIPO UTILIZADO
Oxígeno Disuelto (OD)	93	Instantánea	Medidor Multiparámetro, marca HACH - modelo HQ40D
pH	94	Instantánea	
Conductividad Eléctrica	93	Instantánea	
Temperatura	94	Instantánea	

Fuente: Propia – CRC.

Tabla 5. Parámetros a medir ex situ.

PARÁMETRO	NÚMERO DE MUESTRAS	TIPO DE MUESTRA	TÉCNICA ANALÍTICA (Standard Methods)
DBO ₅ (mg/L)	96	Compuesta	5210 B
DQO (mg/L)	96	Compuesta	5220 B
SST (mg/L)	96	Compuesta	2540 D

Fuente: Propia – CRC.

6.4 Análisis Estadístico

Con los datos de caudal, concentración de los componentes y las cargas másicas del agua residual se realizó un análisis utilizando cálculos estadísticos que involucraron medidas de tendencia central, de dispersión y distribución de frecuencias. Además se desarrolló un análisis gráfico para determinar la tendencia de la información obtenida. Para comparar el desempeño de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento y en vista de la dependencia que existe entre una unidad previa y una unidad posterior, se emplearon pruebas de T pareadas, que son las recomendadas cuando se tiene un tratamiento a continuación del otro con dependencia del segundo respecto al primero (Berthouex y Brown, 2002).

La hipótesis nula de igualdad entre promedios de parámetros antes y después de cada sistema de tratamiento se rechazó cuando la probabilidad de exceder el estadígrafo de prueba de t student fue inferior a 0.05 ($p < 0.05$); cuando se rechazó la hipótesis se pudo inferir que el parámetro variaba significativamente con el tratamiento biológico. Cuando no se rechazó la hipótesis nula ($p > 0,05$) se pudo inferir el parámetro no se veía afectado de manera significativa por dicho tratamiento.

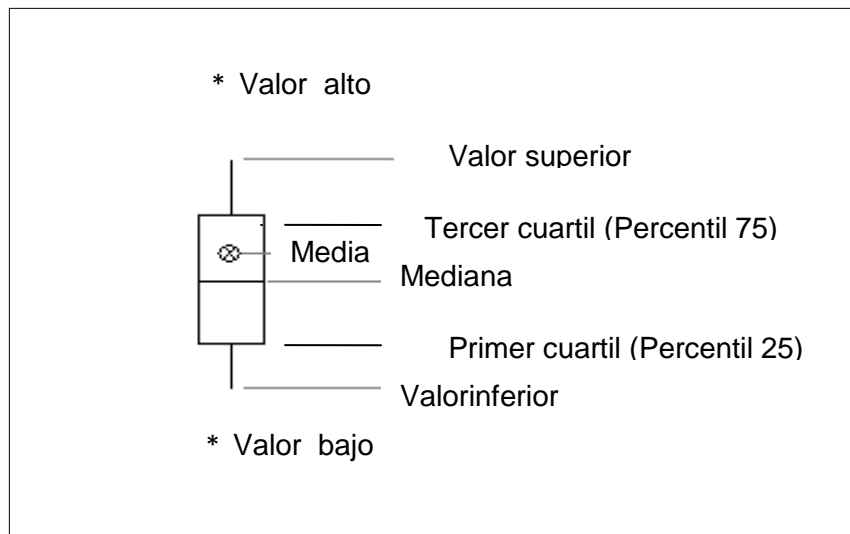
También se realizaron comparaciones entre los sistemas anaeróbicos para definir cual tratamiento era más efectivo ejecutando un análisis de varianza ANOVA de un solo factor con un solo nivel, cuyas variables de respuesta fueron los parámetros medidos a la salida de los sistemas (DBO, DQO, sólidos, OD) y en aquellos casos en que se detectaron diferencias significativas entre promedios de parámetros a la salida de los sistemas

($p < 0,05$) se emplearon pruebas de Tukey para definir cual tratamiento era mejor. Para efectos de estas comparaciones se utilizó el software Minitab 15.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una mejor comprensión de los resultados se utilizaron cajas esquemáticas (box plot), que son diagramas que permiten visualizar el rango intercuartil, la media, la mediana y los valores inusualmente altos o bajos (con respecto al resto de datos) obtenidos durante el muestreo (ver figura 5).

Figura 5. Contenido de una caja esquemática



Fuente: Propia.

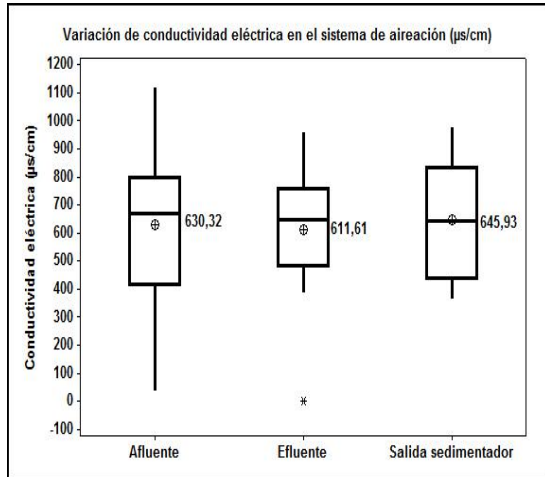
Los resultados detallados de las estadísticas descriptivas, modelo estadístico y pruebas T que se utilizaron para realizar comparaciones e inferencias sobre los datos se encuentran en el anexo D.

7.1 Evaluación del desempeño del sistema de aireación.

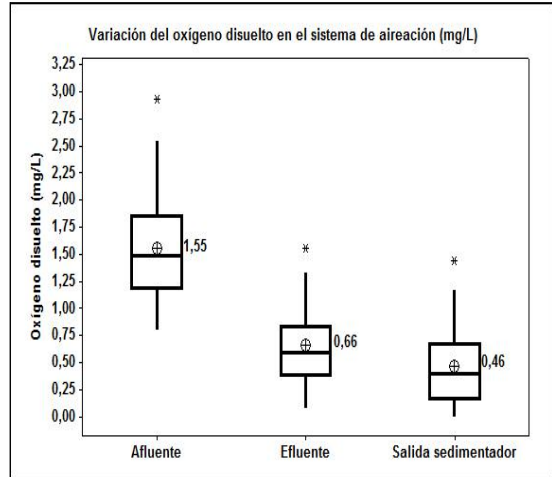
La figura N°6 presenta la variación de principales parámetros medidos en el sitio y los resultados del modelo estadístico que comparó la calidad del afluente al sistema de aireación y el efluente del sedimentador secundario de dicho sistema. Se observa que la conductividad eléctrica y el pH (que se mantuvo en un nivel ácido) no presentaron diferencias significativas, con valores de 630,32 - 645,93 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 4,2 - 4,5 respectivamente, entre el afluente y la salida del sedimentador. Parámetros como el oxígeno disuelto y la temperatura variaron notoriamente presentando valores de 1,65 - 0,46 mg/L y 22,62 - 23,39 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Se puede observar que no existen diferencias significativas entre el pH del afluente y el pH a la salida del sedimentador de este sistema, cuyo valor máximo no supera las 4,5 unidades manifestando su carácter ácido, e indicando a su vez que las cantidades de cal agregadas fueron insuficientes para

alcalinizar el agua residual. Igualmente, la disminución del oxígeno disuelto en el efluente del tanque de aireación muestra que la oxigenación aplicada fue insuficiente para los requerimientos del sistema.

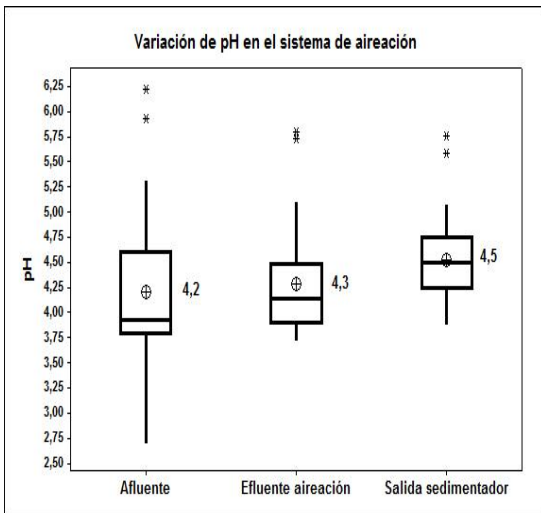
Figura 6. Variación de los parámetros medidos in situ y resultados del modelo estadístico que evaluó el sistema de aireación.



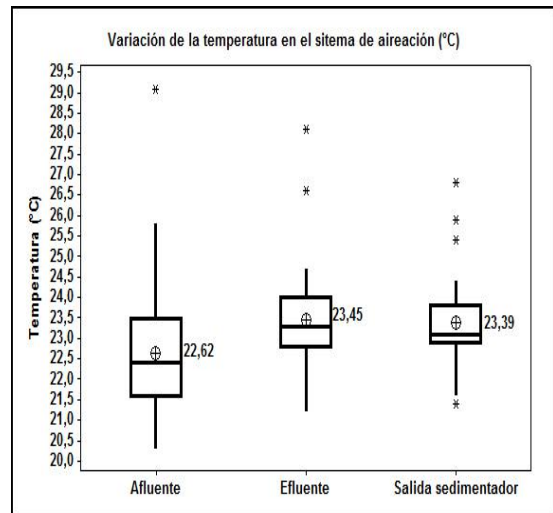
P > 0,05.
No hay diferencias significativas entre la conductividad eléctrica del afluente y la conductividad eléctrica de la salida del sedimentador del sistema de aireación.



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre el OD del afluente y el OD de la salida del sedimentador del sistema de aireación.



P > 0,05.
No hay diferencias significativas entre el pH del afluente y el pH a la salida del sedimentador del sistema de aireación.



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre la temperatura del afluente y la temperatura a la salida del sedimentador del sistema de aireación.

Aguayo (2005), en su investigación basada en la optimización de un sistema aeróbico y de acuerdo con Ottengrafet *al.* (2001) señala que los valores de pH más adecuados para la actividad microbiana dependerán de las condiciones ambientales que necesiten los microorganismos para su adecuado desarrollo biológico. Generalmente, las condiciones de pH requeridas para la biodegradación de compuestos orgánicos volátiles son neutras (entre 7 y 8), debido a que bajo estas condiciones los microorganismos alcanzan máximas velocidades de desarrollo, razón que permite señalar que en este sistema fue precaria la formación de este tipo de microorganismos.

También sostiene que durante la operación de un sistema aeróbico, el pH empieza a decrecer debido a la formación de ácidos intermedios que reaccionan con algunos de los componentes del medio, lo que puede disminuir e incluso detener la actividad microbiana en el interior del biorreactor. Para remediar esta situación, periódicamente debe agregarse al biorreactor una solución alcalina que permita equilibrar el pH de éste. En este estudio se agregó cal hidratada por medio de un dosificador de cabeza fija con el fin de neutralizar el pH y lograr la capacidad buffer que le permita al reactor soportar los cambios que éste pueda presentar.

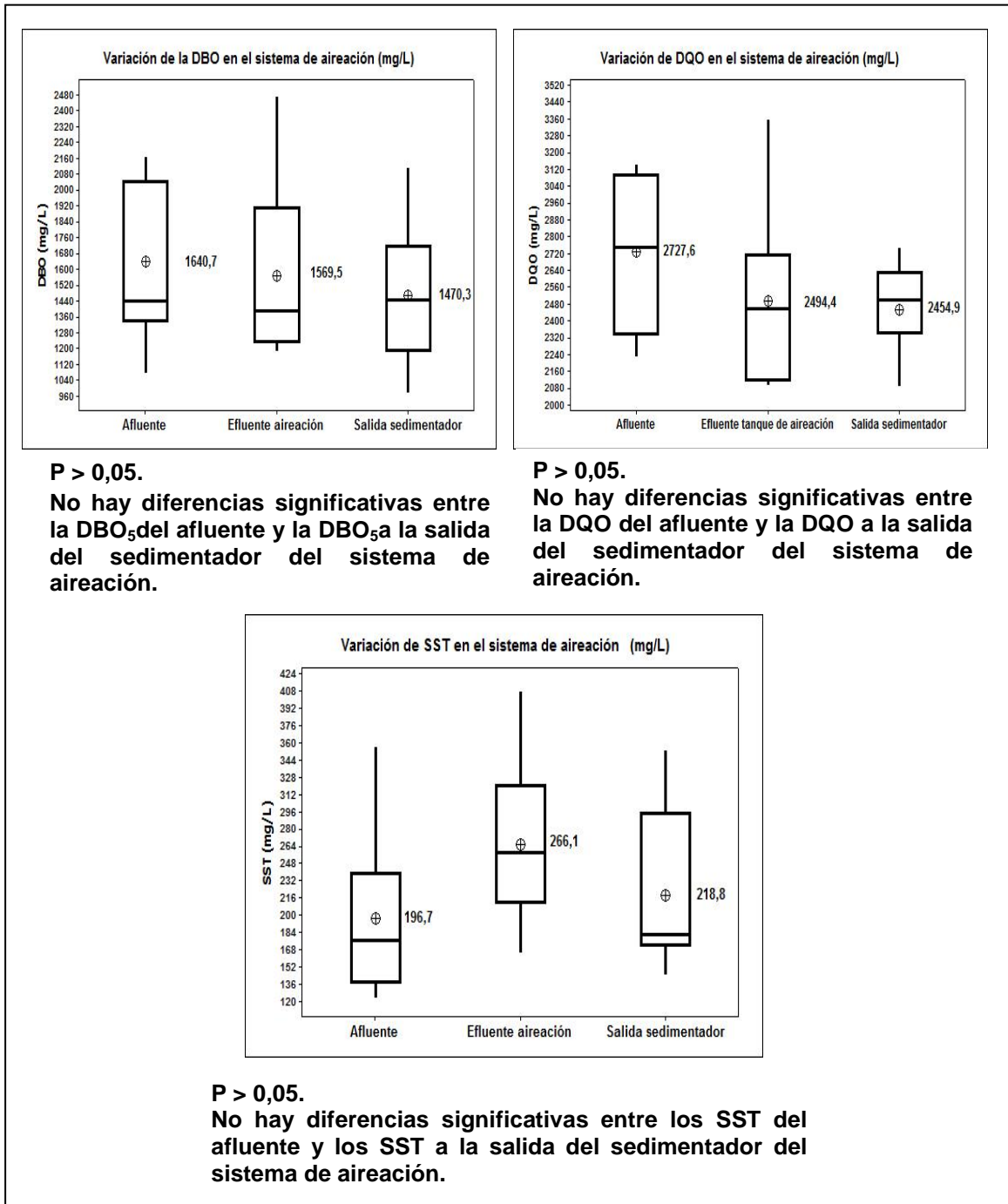
Los valores ácidos de pH reportados por este estudio están relacionados directamente con el mal manejo y la inadecuada dosificación de cal, puesto que en ocasiones se encontraba taponado el flotador de cabeza fija y se suspendía el suministro de cal a los sistemas; además se pudo observar que este compuesto se sedimentaba con facilidad y no tenía la oportuna agitación por parte del operario encargado que garantizara una adecuada dilución de este alcalinizante.

La Figura N° 7 muestra que las concentraciones promedio entre el afluente al sistema de aireación y la salida del sedimentador secundario no presentaron variaciones significativas para ninguno de los parámetros medidos, encontrándose para DBO₅ en el afluente una concentración de 1640,7 mg/L y para la salida del sedimentador secundario 1470,3 mg/L; para DQO se halló una concentración en el afluente de 2727,6 mg/L y para la salida de sedimentador 2454,9 mg/L, por último en cuanto a SST 196,7 mg/L y 218,8 mg/L respectivamente. De acuerdo con estos resultados se generó una remoción del 10,4% de DBO₅, 10% para DQO y -11,2% para SST. El ligero incremento observado en los SST indica que hubo resuspensión de sólidos en el sistema.

Para los sistemas aeróbicos se han desarrollado muy pocos estudios en cuanto al tratamiento de este tipo de aguas residuales, por tal motivo es poca la información que se tiene en cuanto la eficiencia de remoción de estos sistemas.

Para este sistema de aireación se utilizaron inicialmente como inóculo Organismos Efectivos EM1, este tipo de organismos se han implementado para acelerar la formación de bacterias aerobias y anaerobias, con el fin de aumentar las eficiencias de remoción por medio de un ajuste microbiológico tal como lo demuestran Pissinatto *et al* (2002), en cuyo estudio con aguas residuales de la producción almidón, se reportaron eficiencias de remoción del 80% de DBO, al inocular con dichas bacterias un sistema de lagunas de estabilización que previamente había tenido problemas en la remoción de materia orgánica.

Figura 7. Variación de los parámetros medidos en laboratorio y resultados del modelo estadístico que evaluó el sistema de aireación



Para el presente estudio, los microorganismos EM1 no aceleraron el crecimiento de bacterias aerobias ya que no se ofrecieron las condiciones necesarias para la formación del lodo debido a que no se evitaban problemas operacionales tales como la sobrecarga orgánica, esto se presentó porque no se tuvo un control estricto por parte de los operarios

en la entrada de caudal al sistema de aireación en épocas donde se presentaba máxima producción de almidón, lo que produjo un barrido o arrastre de una gran cantidad de lodos y que conllevó al retraso del periodo de arranque.

Por tal razón se hizo una segunda inoculación del sistema empleando lodos provenientes de la PTAR de Alpina S.A; este tipo de lodo no se había usado como inóculo para el tratamiento de estas aguas, pero se había reportado la utilización de otros tipos lodos provenientes de distintas plantas de tratamiento los cuales presentaron buenos desempeños funcionales (Torres *et al.*, 2005a).

Para explicar el desempeño del sistema se debe tener en cuenta que sistema de aireación está constituido por diferentes organismos entre los cuales están los organismos filamentosos y bacterias aeróbicas; estas últimas son las encargadas de la descomposición de materia orgánica y constituyen la mayor parte de la biomasa (Muñoz y López, 2011). Por su parte los organismos filamentosos forman lodos de mala calidad con característica de baja sedimentación y ocasionan un problema denominado bulking o esponjamiento, esto causa problemas de tipo operacional lo cual influye en la calidad del agua tratada (Pacheco *et al.*, 2002).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto y según los datos de concentración de DBO_5 y DQO del efluente de los tanques de aireación se puede inferir que el lodo formado por las bacterias filamentosas salió de estos hacia los sedimentadores causando que el sustrato presente en los tanques fuera escaso para el crecimiento de los microorganismos aerobios encontrados en los lodos, esto a su vez ocasiona que haya una necesidad por parte de estos organismos a realizar respiración endógena lo cual desfavorece la cantidad de oxígeno presente en el agua y por ende se eleva la demanda bioquímica de oxígeno (Pacheco *et al.*, 2002). Las condiciones encontradas en el afluente (bajo pH, presencia de grasas y mancha flotantes, baja concentración de oxígeno disuelto), evidenciadas en la figura 6, pudieron haber provocado el crecimiento de este tipo de organismos (Pacheco *et al.*, 2002).

En cuanto a SST, la Figura 7 muestra una concentración promedio en el afluente de 196,7 mg/L mientras que para el efluente de aireación y la salida del sedimentador 266,1 mg/L y 218,8 mg/L respectivamente, además se estima un incremento del 11,2%. Esta deficiencia se debe especialmente a un inadecuado diseño geométrico del sedimentador secundario en especial su entrada. La mayoría de los autores sugieren que en tanques circulares dicha entrada se haga por el centro dentro de una zona de tranquilización (la cual no estaba presente en las unidades piloto), tal entrada debe estar ubicada a una altura media del tanque (sedimentador) para que de este modo no se disminuya la concentración de lodos debido al barrido que puede realizar la entrada del flujo y generar cortos circuitos y zonas muertas (Romero, 2000; Contreras, 2010). De acuerdo con las visitas realizadas se encontró que estos sedimentadores tenían una entrada que coincidía con el nivel del agua y una salida en la misma alineación, este diseño generó que se formaran cortocircuitos y zonas muertas lo cual se refleja en la concentración de SST.

La alta concentración de sólidos hallados a la salida de los tanques de aireación se explica por la posible presencia de bacterias filamentosas de baja densidad que se forman en estos sistemas y que generan el fenómeno bulking; en consonancia con lo anterior, en los sedimentadores secundarios se evidenció la formación de natas (ver

figuras 8 y 9) causadas por la salida de mancha de los sedimentadores primarios y por la presencia de lodos provenientes de los tanques de aireación los cuales no se pudieron decantar y contribuyeron al bajo nivel de oxígeno disuelto en el efluente final y por tanto a la poca eliminación de materia orgánica .

Figura 8. Entrada y salida del flujo en sedimentadores secundarios

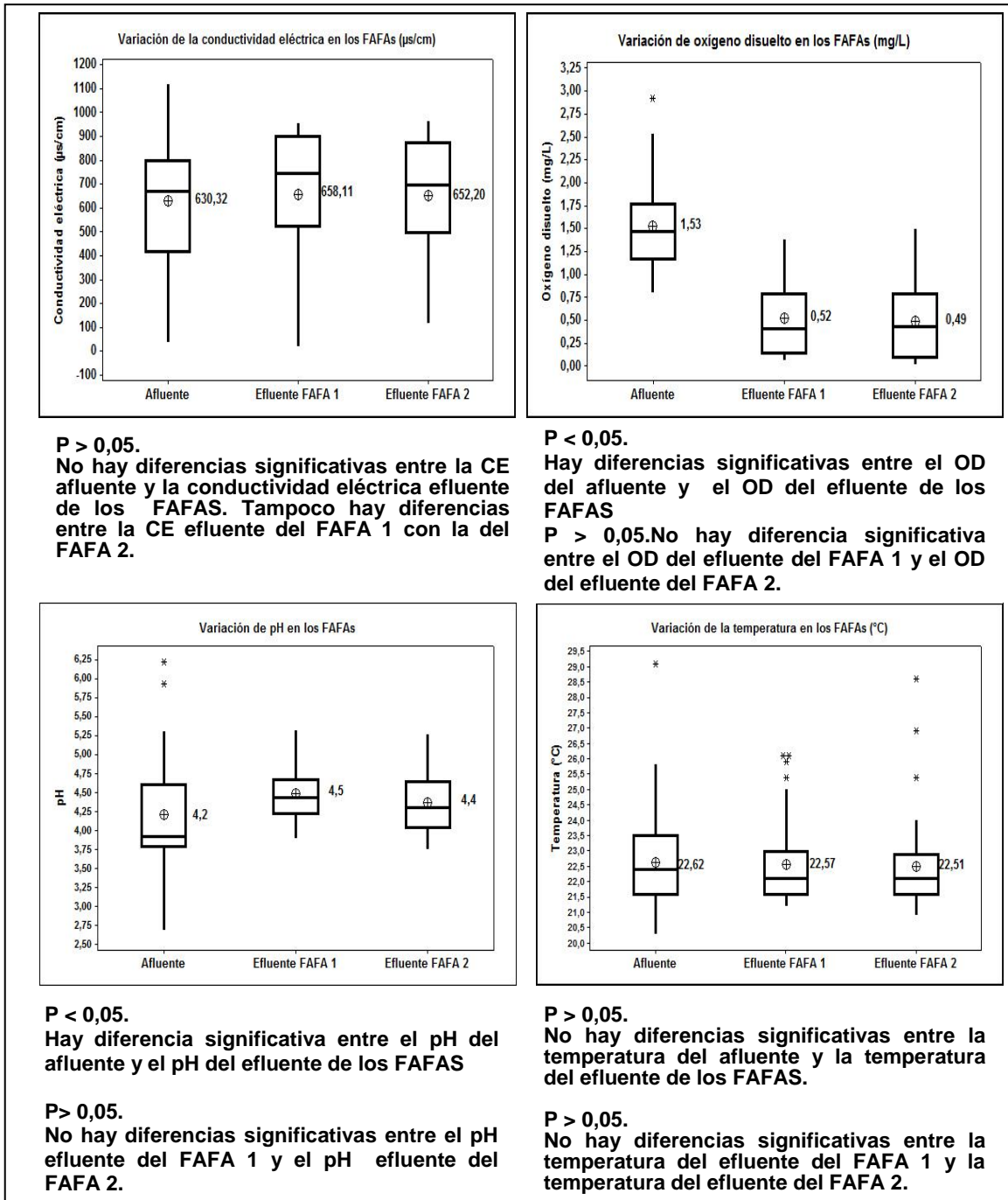


7.2 Evaluación del desempeño de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs)

En la figura N°10 se puede evidenciar que no se presenta variación significativa tanto en la conductividad eléctrica como en la temperatura del afluente con relación al efluente del FAFA1, obteniéndose valores de 630,32 – 658,11 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 22,62 – 22,57 °C. Se puede notar también que el pH y el oxígeno disuelto si mostraron diferencias con relativa importancia presentando los siguientes valores: 1,53 – 0,49 mg/L y 4,2 – 4,4. De igual manera en el FAFA 2, no se encontraron diferencias significativas entre la conductividad eléctrica del afluente y la del efluente con valores de 630,32 y 652,20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ respectivamente; además tanto el pH como el oxígeno disuelto del afluente a esta unidad presentaron diferencias relevantes con relación a su efluente con valores de 4,2 – 4,4 y 1,43 – 0,49 mg/L. Los valores obtenidos de temperatura tampoco presentaron variaciones significativas oscilando entre 22,6°C para el afluente y 22,5°C en el efluente de dicha unidad.

Según Cajigaset *al.* (2005) el pH es una de las variables más relevantes a controlar en los procesos anaerobios y en especial en el tratamiento de aguas provenientes de rallanderías, ya que este tipo de aguas son de naturaleza ácida pues en el proceso de extracción del almidón se libera gran cantidad de ácido láctico como consecuencia de la acidificación natural que experimenta este tipo de residuos y se ve reflejado en el bajo valor de pH, por tal razón es necesario aumentarlo a un rango de 6.0 y 7.5 para garantizar un adecuado funcionamiento de este tipo de reactores.

Figura 8. Parámetros medidos in situ y resultados del modelo estadístico para los FAFAs



En las diferentes visitas realizadas a la PTAR se pudo evidenciar que a pesar de la adición de un alcalinizante a la salida del sedimentador de mancha no se logró el ajuste de pH adecuado como se observa en la figura N°10, presentándose valores que oscilan

entre 4,2 unidades a la salida del sedimentador de mancha y 4,5 – 4,4 a la salida del FAFA 1 y FAFA 2 respectivamente, tal variación pudo deberse a los problemas operacionales mencionados anteriormente.

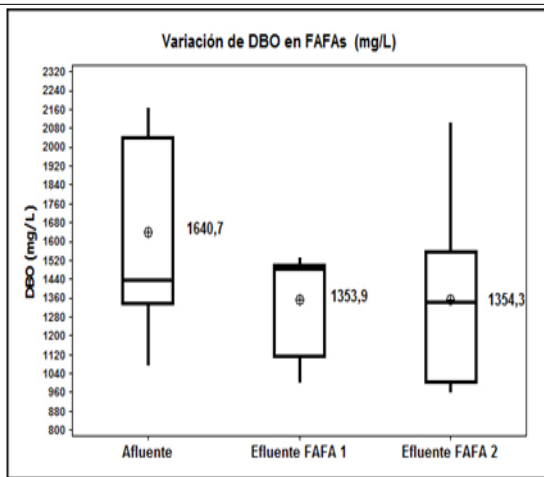
Torres *et al.* (2008) afirman que para este tipo de tratamientos es necesario determinar experimentalmente la dosis de alcalinizante adecuada, de tal forma que se alcance un valor de pH mínimo de 5,75 unidades indispensable para neutralizar la acidez típica de este tipo de aguas e igualmente garantizar una capacidad amortiguadora que evite las diferentes fluctuaciones de pH. El valor del pH observado se debió como lo afirman Cajigaset *al* (2005) a que toda la alcalinidad del medio no fue suficiente para neutralizar los ácidos volátiles (grasos), variable que se debió evaluar simultáneamente con el pH, la alcalinidad bicarbonática y la total, pero por motivos presupuestales no fue posible la financiación de estos ensayos de laboratorio que hubiesen permitido una valoración más completa de la PTAR, en especial de los sistemas anaeróbicos.

En el presente estudio el pH para todos los sistemas no superó un valor de 4,5 unidades determinando el carácter netamente ácido de las diferentes tecnologías empleadas en la PTAR presentando efectos directos sobre las bacterias encargadas de degradar la materia orgánica principalmente las metanogénicas las cuales como lo indican Torres *et al.* (2003, 2008), tienen un crecimiento óptimo en un rango de pH entre 6,6 y 7,6 unidades; sin embargo, pueden conseguir estabilidad para la formación de metano en un rango más amplio (6,0 - 8,0 unidades); valores menores a 6,0 y superiores a 8,3 deben evitarse para prevenir la completa inhibición de las bacterias metanogénicas suceso que ocurrió en los sistemas anaeróbicos de la PTAR. Como se afirma posteriormente no se encontraron eficiencias de remoción de contaminantes que indicaran un adecuado funcionamiento de la PTAR.

La variación de las concentraciones del afluente encontrados en la Figura N°11 en cuanto a DBO₅ y DQO son normales en este tipo de líquidos tal como lo muestra la Tabla N°2 que indica el alto contenido de materia orgánica típico en estas aguas. De acuerdo con la Figura N°11 se obtuvo una concentración promedio para el afluente en cuanto a DBO₅ de 1640,7 mg/L y 2727,6 mg/L de DQO mientras que para el FAFA 1 se alcanzó una concentración de DBO₅ de 1353,9 mg/L y de DQO de 2679,4 mg/L, del mismo modo 1354,3 mg/L de DBO₅ y 2387 mg/L de DQO para el FAFA 2, a su vez, el modelo estadístico evidenció que no existen diferencias significativa entre las concentraciones promedio de efluentes de los dos FAFAS.

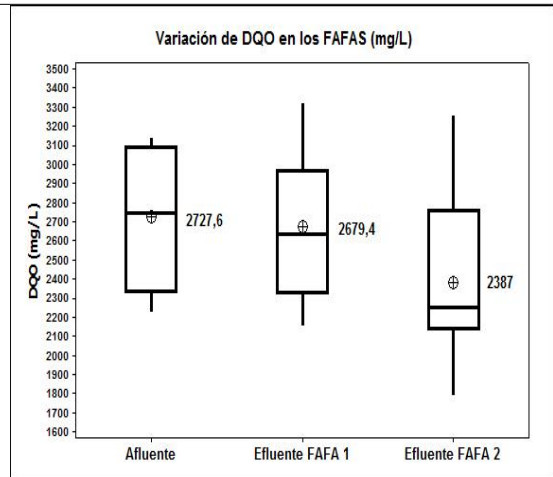
Este tipo de tratamiento se ve favorecido por el alto contenido de materia orgánica, algunos autores han reportado que una remoción de DQO alrededor del 70% es significativa en cuanto a la reducción de carga contaminante (Torres *et al.*, 2005b), pero en este estudio se encontró una eficiencia de remoción del 17,5% en DBO₅ y 1,8 % en DQO para el FAFA 1 y 17,5% y 12,5% respectivamente para el FAFA 2. La obtención de estas bajas eficiencias en ambos sistemas se atribuye a diferentes factores involucrados durante el periodo de arranque, al respecto, el pH es una variable importante para la remoción de materia orgánica ya que influye en el crecimiento de microorganismos anaerobios necesarios para llevar a cabo el proceso de digestión tal como se expresó anteriormente.

Figura 9. Parámetros medidos en el laboratorio y resultados del modelo estadístico para los FAFAS



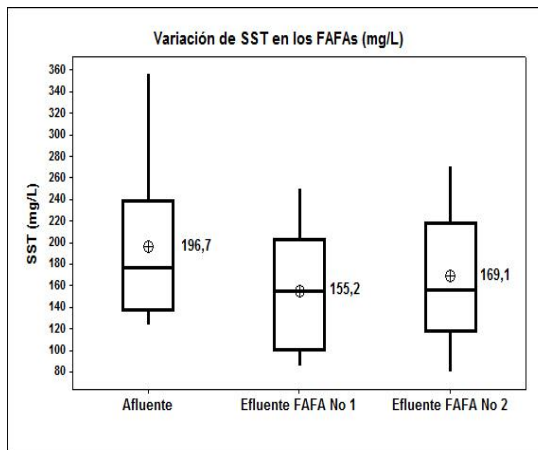
P > 0,05.
 No hay diferencias significativas entre la DBO₅ del afluente y la DBO₅ del efluente de los FAFAS.

P > 0,05.
 No hay diferencias significativas entre la DBO₅ del efluente del FAFA 1 y la DBO₅ del efluente del FAFA 2.



P > 0,05.
 No hay diferencias significativas entre la DQO del afluente y la DQO del efluente de los FAFAS

P < 0,05.
 Hay diferencias significativas entre la DQO del efluente del FAFA 1 y la DQO del efluente del FAFA 2.



P < 0,05.
 Hay diferencias significativas entre los SST del afluente y los SST del efluente de los FAFAS

P > 0,05.
 No hay diferencias significativas entre los SST del efluente del FAFA 1 y los SST del efluente del FAFA 2.

Los filtros anaerobios estudiados presentaban ciertas características particulares, una de ellas eran los materiales utilizados como medio de soporte ya que hasta la fecha no habían sido evaluados para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca. De acuerdo con Castaño y Paredes (2002) en el medio de soporte cobra importancia la forma y las características de los materiales utilizados, variable que puede influenciar en el periodo de arranque, para el caso de las botellas plásticas éstas han sido evaluadas para la depuración de otro tipo de agua tal como lo demuestra Orozco (2003), en donde las botellas se utilizaron en un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas provenientes del lavado de café; de acuerdo con este estudio se obtuvieron eficiencias de remoción alrededor del 80% en cuanto a materia orgánica, ya que el material plástico presenta ciertas ventajas porque puede ser utilizado para aguas con altas cargas orgánicas lo que permite la adherencia de la biopelícula por su alta porosidad. Cabe resaltar que el otro material utilizado para uno de los medios de soporte, retales de neumáticos, no se han reportado experiencias y más aun en la depuración de este tipo de aguas.

El medio de soporte pudo influenciar en las bajas eficiencias debido a que se recomienda que este ocupe un 50 – 70 % de la altura total del reactor, pero de acuerdo con las diferentes visitas realizadas se encontró que los sistemas no cumplían con este porcentaje pues los reactores tenían porcentajes mayores al recomendado (ver figuras 12 y 13) lo cual pudo influenciar en el proceso de digestión anaerobia que a su vez limita la remoción de materia orgánica.

Figura 10. Medio soporte FAFA 1



Figura 11. Medio soporte FAFA 2



Para el periodo de arranque otro factor importante a tener en cuenta es el inóculo, en estos sistemas se utilizó estiércol de vaca el cual de acuerdo con Pérez *et al.* (2006) es recomendable para este tipo de tratamientos ya que ofrece las mismas eficiencias de remoción de DQO determinadas en otros inóculos estudiados, pero es necesario que se realice un control constante en el índice buffer por medio de la adición de un alcalinizante que permita alcanzar eficiencias de remoción aceptables las cuales no se alcanzaron en el presente estudio, pues el alcalinizante utilizado no ofreció las condiciones requeridas por los bajos valores de pH encontrados, además se pudo ver que la planta de tratamiento en ocasiones sufrió varias paradas inesperadas debido a los problemas operacionales anteriormente nombrados, afectando notoriamente las eficiencias de

remoción ya que pudo existir el asentamiento del inóculo causando de esta forma problemas hidrodinámicos en ambos sistemas.

De acuerdo con las memorias de diseño de la PTAR, los filtros se diseñaron para trabajar con un caudal de 0,3 L/s y un tiempo de retención hidráulico de 9 horas. Según Torres *et al.* (2003) el TRH debe ser lo mas bajo posible para evitar la acumulación de AGV y la consecuente acidificación del agua; lo anterior implica la inhibición de la capacidad buffer. Lo expuesto anteriormente no se presentó en estos reactores ya que se encontró que el caudal a la entrada de estos sistemas es menor al de diseño, tal como lo indica el Anexo B., lo que conllevó a un aumento del TRH y pudo influir en la acidificación de los efluentes como se puede comprobar en la Figura N° 10, donde se evidencia el carácter ácido en ambos sistemas.

En cuanto a los SST, la Figura N°11 muestra que el afluente contenía una concentración promedio de 196,7 mg/L mientras que para el efluente tanto del FAFA 1 como del FAFA 2 se encontró 155,2 mg/L y 169,1 mg/L respectivamente, además se presentó una remoción del 21,1% para el FAFA 1 y 14,0% para el FAFA 2. La baja eficiencia en la remoción de SST hallada en ambos sistemas se atribuye a cortocircuitos y zonas muertas encontradas en los filtros anaerobios debido a que se pudieron haber presentado líneas de flujo preferencial en los medios de soporte, además se presentó el arrastre de material en suspensión correspondiente a la mancha.

También se evidenció que en el sedimentador de mancha de la PTAR en ocasiones se formaba una biopelícula sobrenadante la cual aumentaba en función del periodo de limpieza y aportaba SST a los demás sistemas tal como lo expresa Cabezas *et al.* (2007). Las altas concentraciones de sólidos reportadas se deben en especial a la salida de mancha por parte de los sedimentadores así pues al llegar a los sistemas anaeróbicos causaba colmatación y afectaba la eficiencia de remoción de materia orgánica. Así mismo en algunos muestreos se encontraron bajas concentraciones de SST debido a las condiciones climáticas presentadas en algunas fechas pues hubo épocas de lluvia lo cual influyó en la dilución del afluente.

Debido a la similitud entre los caudales de entrada a estos sistemas se les realizó una comparación estadística por medio de análisis de varianza (ANOVA), y teniendo en cuenta la semejanza de las medias en cuanto a DBO₅ y SST tanto del efluente del FAFA 1 y FAFA 2 se estima que no hay diferencias significativas entre las concentraciones finales, es decir que ambos sistemas operaron de forma equivalente en cuanto a la remoción de DBO y sólidos suspendidos, pero en cuanto a las concentraciones de DQO las diferencias fueron significativas en los efluentes de ambos por lo tanto el FAFA 2 tuvo un mejor comportamiento en la remoción de DQO.

7.3 Comportamiento del sedimentador de mancha

Aunque no hacía parte de los objetivos de este trabajo, la consideración de esta unidad dentro del análisis general es de gran importancia puesto que el efluente de los sedimentadores de mancha es el afluente de las diferentes tecnologías empleadas en la PTAR. En la Figura 15 se puede observar claramente su diseño y ubicación con relación a los demás sistemas de la planta. La concentración de SST a la salida de esta unidad se elevó notoriamente como se puede ver en Figura 16, tal incremento pudo ocurrir

por factores operacionales como por ejemplo la inadecuada regulación del caudal de entrada ya que no se presentó ninguna precaución por parte de los ralladeros al momento de evacuar el agua almacenada en sus tanques previos de sedimentación de mancha a la planta, además se pudo notar que los caudales suministrados eran muy irregulares y en ocasiones sobrepasaban los niveles de flujo normales lo que pudo ocasionar el arrastre de los SST y disminuir el tiempo de retención hidráulico contribuyendo con la baja eficiencia reportada.

Otro aspecto que se puede considerar es que esta unidad presenta paredes laterales con un grado de inclinación de 45° (ver figura 14) característica que posiblemente no permite la debida sedimentación de la mancha, convirtiéndose en una zona de retención o de reposo del lodo suspendido el cual es de naturaleza floculenta y posee menor peso molecular por haber pasado previamente en los tanques individuales de almacenamiento de mancha de las rallanderías, es probable que tal inclinación permita que los lodos sean barridos por el flujo y salgan con el efluente influyendo negativamente en el desempeño de las unidades de sedimentación primaria.

Figura 13. Paredes del sedimentador de mancha



Figura 12. Sedimentador de mancha



El análisis exploratorio de los datos del afluente y efluente del sedimentador de mancha y el modelo estadístico mostraron que no habían diferencias significativas entre la concentración de SST a la entrada y salida de dichas unidades. La figura 16 presenta el comportamiento de los SST en el sedimentador de mancha.

A pesar de que la remoción de SST calculada es del 44%, nótese que hay dos datos inusualmente altos a la entrada del sedimentador que están contribuyendo a elevar dicha eficiencia, la cual muy seguramente sería menor si se descartaran dichos datos. En las figuras 17 y 18 se puede notar claramente la diferencia entre la unidad de sedimentación a la cual se le realizó el mantenimiento y aquella que no se consideró para tal fin, y aunque diversos autores recomiendan que a los sedimentadores de este tipo

necesariamente se les debe realizar una purga diaria para evitar la resuspensión de los lodos; en esta PTAR no fue posible la implementación de esta medida ya que no contaba con las válvulas necesarias para dicha evacuación, además para tal labor se hace necesaria la construcción de un lecho de secado de lodos, tecnología que se considera en los diseños originales de la PTAR pero que durante el periodo de arranque no se había implementado y como se puede ver en el Anexo E, foto 20 la mancha obtenida en la limpieza por medio de bombeo de una de las unidades de sedimentación primaria debió manejarse artesanalmente.

Figura 14. Concentración de SST en el afluente y efluente de los sedimentadores de mancha.

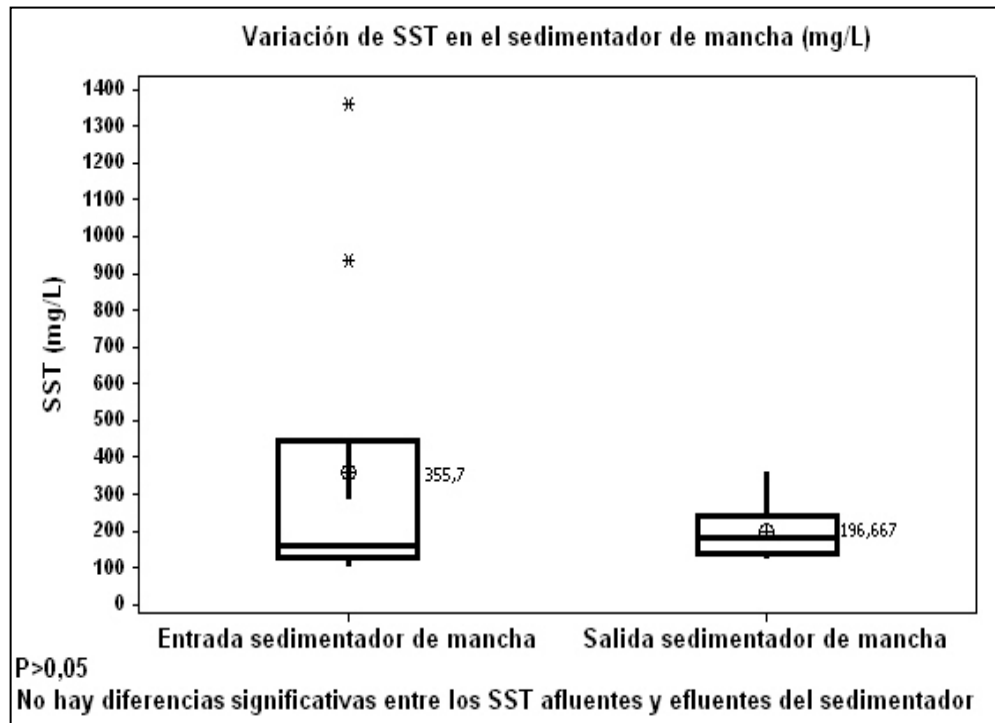


Figura 17. Mancha resuspendida



Figura 18. Diferencias entre los sedimentadores después del mantenimiento.



El hecho de que no se hayan realizado purgas diarias de lodo y que tampoco se retirara diariamente la mancha sobrenadante o resuspendida influyó de manera negativa en el desempeño de las unidades de tratamiento biológico ya que todos los sistemas implementados requieren de niveles mínimos de sólidos y grasas para su adecuado funcionamiento (Crites y Tchobanoglou, 2000).

7.4 Evaluación del desempeño del filtro percolador

En la figura N°19 se presenta el comportamiento y resultados del modelo estadístico para los parámetros medidos en el sitio en el afluente, efluente y sedimentador secundario del filtro percolador.

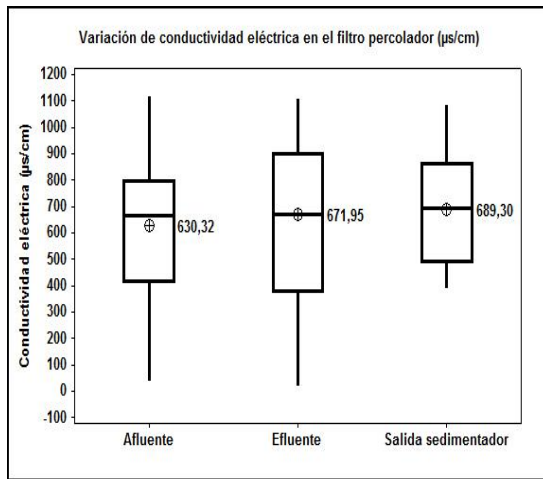
Se nota que el oxígeno disuelto a la salida del filtro percolador varía notoriamente con respecto al oxígeno del afluente, pasando de 1,55 mg/L a 3,40 mg/L, tal aumento puede deberse a que el medio filtrante tiene la porosidad adecuada para permitir una diferencia entre la temperatura del aire y el agua residual suministrando aspiración natural y una adecuada aireación (Romero, 2004). También se puede ver que el oxígeno disuelto disminuye notoriamente en la salida del sedimentador a un valor promedio de 0,74 mg/L, lo cual es normal en unidades de sedimentación secundaria donde la presencia de la biopelícula desprendida del filtro percolador contribuye a disminuir los niveles de oxígeno del líquido (Metcalf y Eddy, 2004).

Arango y López (2011) afirman que las concentraciones bajas de oxígeno disuelto en reactores aerobios son propicias para el crecimiento excesivo de bacterias filamentosas, en condiciones de temperaturas altas y bajas. Adicionalmente, cuando el pH es menor a 6 unidades se tiene la proliferación de hongos filamentosos lo cual es muy probable porque en la figura N°19 se observa claramente que el pH no superó las 4,5 unidades siendo de naturaleza totalmente ácida como ya se explicó para el sistema de aireación. Bajo estas condiciones se puede generar un posible efecto bulking y problemas en su deshidratación.

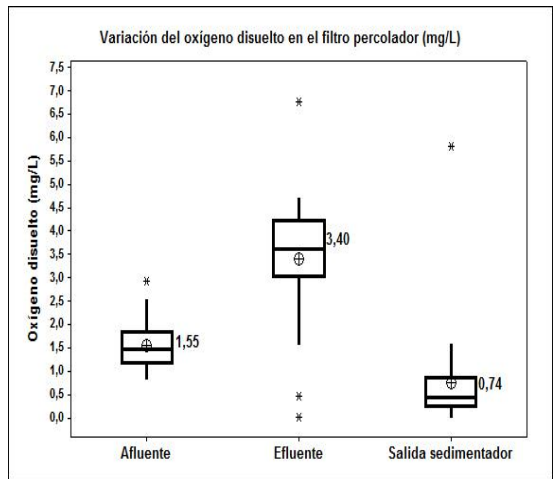
El posible efecto bulking se pudo notar en el sedimentador de esta unidad ya que en algunas ocasiones se observó la formación de natas y resuspensión de los sólidos, probablemente por la formación de cortocircuitos, ya que los sólidos del sedimentador secundario por presentar bajo peso molecular no sedimentaron adecuadamente y pasaron directamente como efluente, por la indebida ubicación de las entradas del flujo las cuales estaban en la parte superior de los tanques y no como lo indican Romero (2004) y Metcalf y Eddy (2004) quienes recomiendan que la entrada debe disponerse a una altura intermedia y utilizar cámaras de tranquilización para el afluente con recolección del efluente a través de canaletas perimetrales, lo que afectó dramáticamente la remoción de SST.

La Figura N°20 muestra las concentraciones medias de DBO₅ y DQO para el afluente las cuales son 1640,7 mg/L y 2727,6 mg/L respectivamente, además se presentan las concentraciones de salida de los sedimentadores que son de 1421,4 mg/L de DBO₅ y 2472,3 mg/L de DQO. La remoción de DBO₅ fue del 13.9% y 9,4 % para DQO. Para este sistema no se encuentran diferencias significativas entre las concentraciones promedios de entrada y salida tanto para DBO₅ así como para DQO.

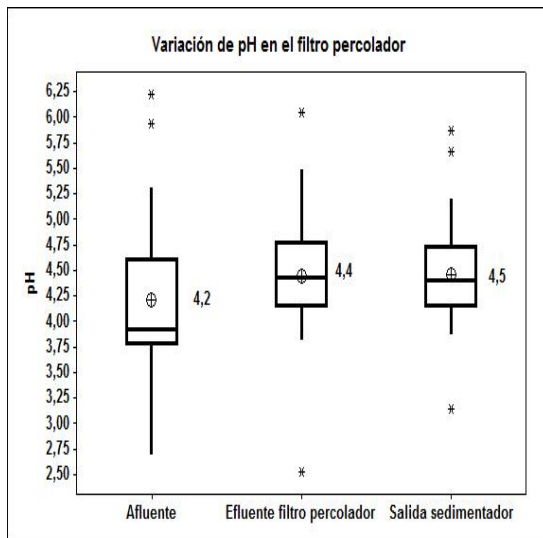
Figura 15. Parámetros medidos en el sitio para el filtro percolador



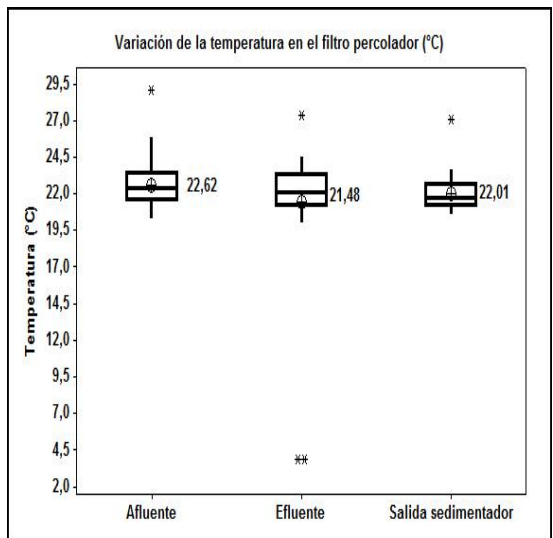
P > 0,05.
No hay diferencias significativas entre la CE afluente al filtro percolador y la CE efluente del sedimentador secundario



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre el OD afluente al filtro percolador y el OD efluente del sedimentador secundario



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre el pH del afluente al filtro y el pH en la salida del sedimentador secundario



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre la temperatura del afluente al filtro y la temperatura en el efluente del sedimentador secundario

Para el tratamiento de este tipo de aguas con filtros percoladores, tampoco se reportan estudios en la literatura. Los aspectos a tener en cuenta en el filtro percolador son el medio de soporte, la aireación y el sedimentador secundario. Las botellas plásticas como medio soporte han sido estudiadas para aguas residuales domésticas y se han reportado eficiencias de remoción superiores al 90% en cuanto a DBO_5 y DQO (Cáceres, 2010). En cuanto a los retales de neumático utilizados no se han reportado experiencias en las que se hayan implementado como medio filtrante y en el presente estudio no se puede aportar una valoración certera de su funcionamiento, porque el agua residual tratada no presentó el acondicionamiento necesario (ver Anexo E, Foto 15).

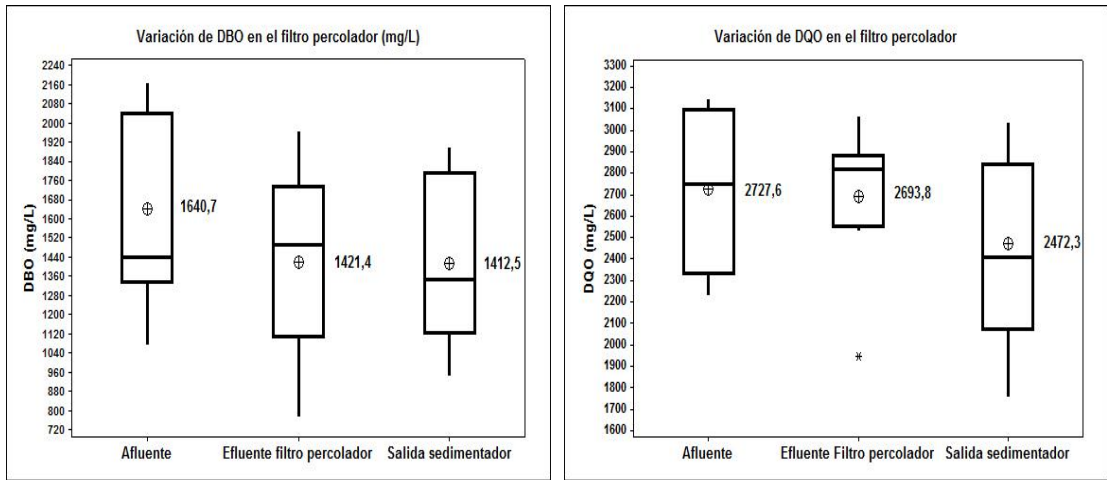
La baja eficiencia en la remoción de DBO_5 y DQO se debe especialmente a la poca formación de biopelícula en el medio filtrante lo cual también se evidencia en la alta concentración de materia orgánica a la salida del filtro, esto es una consecuencia del pH bajo del agua residual ya que al afluente no se le suministraba alcalinizante ya que el brazo distribuidor de agua funcionaba a presión y era necesario la salida directa del agua del sedimentador de mancha para el funcionamiento adecuado de éste. Para estos sistemas es necesario que el pH esté posiblemente neutro o por lo menos dentro de un rango adecuado para que el sistema aeróbico funcione correctamente de acuerdo con lo expuesto en el análisis del desempeño del sistema de aireación.

Durante el periodo de arranque se presentaron paradas en este sistema debido a que los orificios de la salida del agua en el brazo estaban taponados por sólidos flotantes que se escapaban desde el sedimentador de mancha, además este no era el único problema pues en ocasiones era necesario suspender el funcionamiento del filtro ya que el nivel de agua en el sedimentador bajaba lo cual no era recomendado debido a que podía dañar la bomba encargada de suministrar el agua al filtro. Estos inconvenientes provocaron la suspensión en cuanto la carga orgánica e hidráulica necesaria para el crecimiento de los microorganismos presentes en el medio de soporte causando la baja eliminación de materia orgánica durante el proceso debido a la baja formación de biopelícula.

En cuanto a los SST se encontró en el afluente una concentración equivalente a 196,7 mg/L mientras que para la salida del filtro y del sedimentador secundario 264,8 mg/L y 200,3 mg/L respectivamente. Además se estimó que no hay diferencias significativas entre las medias del afluente y efluente de la salida del sedimentador secundario encontrándose un incremento del 1,8% en este parámetro.

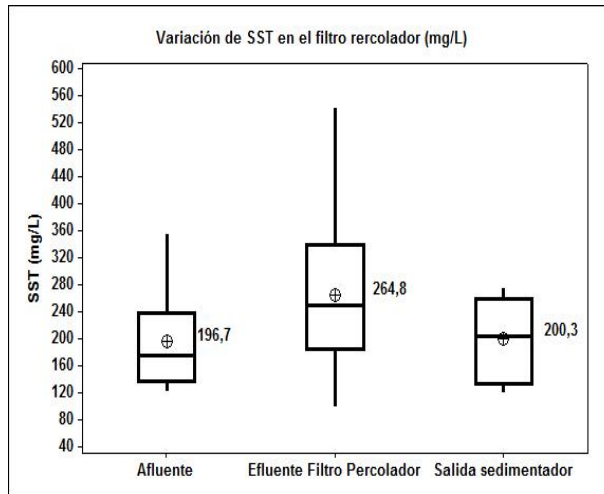
A la salida del filtro percolador se encontró una alta concentración de SST debido a los desprendimientos de biopelícula típicos de estos sistemas. De acuerdo con Romero (2004) cuando la capa biológica aumenta de espesor, la materia orgánica es absorbida por los microorganismos aerobios haciendo que los microorganismos anaerobios realicen crecimiento endógeno y por ende en este periodo se pierde su capacidad de adherencia al medio y de este modo son arrastrados por el agua que traspasa el filtro y se inicia el crecimiento de una nueva capa biológica la cual era baja de acuerdo con lo explicado en cuanto a DBO_5 y DQO, esta capa biológica desprendida incrementa la concentración de SST tal como se evidencia en este caso (ver figura 20). Por tal motivo, se hace necesario el buen desempeño del sedimentador secundario para remover esta concentración de sólidos, esto no fue posible en el sedimentador secundario estudiado ya que se presentaron los mismos problemas mencionados anteriormente para el sedimentador del sistema de aireación.

Figura 16. Parámetros medidos en laboratorio para afluente, efluente y salida del sedimentador secundario del filtro percolador



P < 0,05.
Hay diferencias significativas entre la DBO₅ del afluente del filtro percolador y la DBO₅ a la salida del sedimentador

P > 0,05.
No hay diferencias significativas entre la DQO del afluente del filtro percolador y la DQO a la salida del sedimentador.



P > 0,05.
No hay diferencias significativas entre los SST del afluente del filtro percolador y los SST a la salida del sedimentador. Hay resuspensión de sólidos.

8. CONCLUSIONES

- El desempeño del sedimentador de mancha no fue el esperado ya que al presentar paredes laterales en su diseño con un grado de inclinación de 45°, no favoreció la correcta sedimentación de los lodos los cuales se resuspendieron durante los picos de caudal produciendo un aumento de SST en el afluente a los sistemas biológicos de la planta.
- El líquido afluente a las diferentes tecnologías desarrolladas en la planta no superó las 4,5 unidades de pH, trabajando durante todo el periodo de arranque en el intervalo ácido, lo que inhibió la formación de las bacterias encargadas de la degradación de la materia orgánica, y se estableció que ninguno de los sistemas alcanzó una remoción cercana al 50%.
- En los tanques de aireación no se presentó la formación adecuada de lodos caracterizándose por la posible presencia de bacterias filamentosas y la baja presencia de bacterias aerobias, lo cual se debió a la acidez del agua y la formación de zonas muertas y cortocircuitos debidos a la inadecuada disposición de las entradas y salidas del flujo en estos tanques
- La entrada superficial del flujo a los sedimentadores tanto del filtro percolador como del sistema de aireación disminuyó el tiempo de retención hidráulico con la consecuente formación de cortocircuitos y zonas muertas, lo que produjo la resuspensión de los lodos y el inadecuado desarrollo de las sustancias floculentas; contribuyendo así con las bajas eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales que no superaron el 20%.
- La inadecuada operación y mantenimiento de la PTAR fue un factor determinante en la evaluación de su funcionamiento, ya que los incorrectos procedimientos operacionales se vieron reflejados en su desempeño general al contribuir parcialmente con las bajas eficiencias de remoción encontradas.
- Los diferentes materiales utilizados como medio de soporte en los FAFAs podrían ser empleados como material de relleno, sin embargo al no garantizarse las condiciones mínimas de funcionamiento, la disposición adecuada del lecho filtrante y el debido control de pH que son factores correspondientes al acondicionamiento previo de los filtros, no fue posible determinar con certeza la viabilidad de su implementación en el tratamiento de este tipo de aguas.
- De acuerdo con lo estipulado en los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010 en cuanto al vertimiento de residuos líquidos de tipo industrial y los valores mínimos de los parámetros establecidos, se puede afirmar que el pH, DBO y SST no cumplen con esta normatividad puesto que el pH no se encuentra dentro del rango permitido (5 – 9 unidades), de igual manera la remoción de DBO y SST no alcanza el 80% la cual es la mínima para efectuar dicho vertimiento.

9. RECOMENDACIONES

- Para un buen desempeño de los sistemas tanto aeróbicos como anaeróbicos de la PTAR, es indispensable usar un alcalinizante que corrija el pH, llevándolo hasta el valor indicado que garantice la actividad de degradación microbiana y aporte la alcalinidad necesaria para brindar a los sistemas la capacidad buffer. Dicho alcalinizante puede ser el bicarbonato de sodio, que ha sido ampliamente estudiado y aporta los beneficios necesarios para garantizar la neutralización de los ácidos típicos de estas aguas.
- Es indispensable realizar el mantenimiento periódico de la planta por personal capacitado permanente, el cual lleve a cabo una buena operación y óptimo funcionamiento de cada uno de los diferentes procesos desarrollados. Además se debe seguir un manual de operación y contar con el equipo mínimo para el funcionamiento de la planta en el cual se identifiquen los procesos que hagan posible la operación óptima y eficiente de ésta, evitando inconvenientes y fallas en las diferentes tecnologías implementadas.
- Para el adecuado funcionamiento del sedimentador de mancha se deben realizar purgas del lodo con una periodicidad aproximada de 24 horas, esta purga diaria evitará la sobreacumulación del lodo y su consecuente resuspensión. Igualmente se recomienda que la mancha sobrenadante y sólidos flotantes sean retirados diariamente. Además es indispensable la implementación de unidades como los lechos de secado para el correcto manejo de los residuos y su posterior reutilización.
- Con el fin de evitar las variaciones de los caudales de entrada a la planta y suministrar un flujo continuo y regulado para el correcto funcionamiento de los tratamientos secundarios, es necesaria la transformación los sedimentadores primarios en tanques de homogeneización o un sistema de dosificación de caudal previo a los sedimentadores ya que esta medida contribuirá con la mejora de su capacidad de sedimentación y de este modo impedir el arrastre del material floculento resuspendido el cual se reporta como un aumento de SST a la salida de estas unidades, lo que influye negativamente en los tratamientos posteriores.
- Para determinar el comportamiento hidrodinámico de los sedimentadores secundarios del filtro percolador y el sistema de aireación, se debe implementar un estudio de trazadores cuyo análisis permitirá estimar el tiempo de retención hidráulico real y explicar con precisión las verdaderas razones de la resuspensión de lodos en estos sistemas y de paso, rediseñar las unidades de sedimentación para que funcionen correctamente.

10. BIBLIOGRAFÍA

AGUAYO, P. "Optimización de un sistema de tratamiento biológico de aire tipo airlift para la eliminación de vapores contaminados con hidrocarburos volátiles". [Trabajo de Grado]. Temuco: Universidad Católica de Temuco, Facultad de ingeniería; 2005. 151p.

ALARCÓN, F. Y DUFOUR, D. "Almidón Agrio de Yuca en Colombia". Tomo 1. Producción y Recomendaciones. CIAT, 1998. p.16.

ALTAMIRANO, C. "Biodegradabilidad anaerobia del material en suspensión de las aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca" [Trabajo de Grado]. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería; 1995. 118p.

ANNACHHATRE, A.P y AMORNKAEW, A., "Upflow Anaerobic Sludge Blanket Treatment of Starch Wastewater Containing Cyanide". En: Water Environment Research, KlongLuang, Pathumthani, Tailandia. Vol. 73, No. 5, 2001.p. 622, 623.

APHA.AWWA."Standard Methods for the examination of water and wastewater".1998.20th Ed. Washington, USA.

ARANGO, L y LÓPEZ J. "Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque". [Trabajo de Grado]. Medellín: Universidad de Medellín, Facultad de ingeniería; 2011. 130p.

BERTHOUEX, P., BROWN, L. (2002). Statistics for Environmental Engineers.Second edition; Lewis Publishers, London.Cap 17 y 18.150-157 p.

CABEZAS, C. *et al.* "Evaluación de parámetros ambientales en el proceso de extracción de almidón agrio de yuca". En: Ingeniería Hoy, Popayán. No 26, 2007. p. 28, 35.

CÁCERES, J. "Implementación de material de desecho PET como elemento filtrante en filtros biológicos". [Trabajo de Grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2010. 79p.

CAJIGAS, A. *et al.* "Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca". En: ScientiaetTechnica, Cali. No. 27, 2007.p. 243, 244.

CASTAÑO, J. Y PAREDES, D. "Uso de aros de guadua en filtro anaerobios para el tratamiento de aguas residuales". Pereira. 2002. p. 2,3.

CHÁVEZ, M. "Determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales como parámetro para el dimensionamiento del equipo de aireación de un biodigestor aeróbico". [Trabajo de Grado]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004. 66p.

COLIN, X. *et al.* "Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support".En: Bioresource Technology, Cali. vol. 98, 2007.p. 1602 -1607.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1594 de 1984. (26, Junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI - parte III - libro II y el título III de la

parte III - libro I - del decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, D.C., 1984.

COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Ediciones Jurídicas Presidencia de la República, Bogotá, 2010.

CONTRERAS, J. “Modelación del sedimentador secundario en planta de lodos activados”. [Trabajo de Grado]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2010. 100p.

CRC. “Producción más limpia y aprovechamiento de Subproductos de Rallanderías del Pedregal, Corregimiento de Mondomo, en el Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca - Informe de actividades técnicas de desarrollo No 4”. Corporación Autónoma Regional del Cauca. Popayán, 2009. p. 8 - 10.

CRC. “Rallandero Limpio. Cartilla informativa y educativa”, Corporación Autónoma Regional del Cauca. Popayán, 2005. p. 6.

CRITES, R. Y TCHOBANOGLIOUS, G. “Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados”. Tomo 1. McGraw – Hill, 2000.

GOPALAKRISHNA, K., “Performance Studies of Hybrid Reactor for the Treatment of Sago Wastewater”, En: Environmental Informatics archives, India. Vol. 5, 2007.p. 416, 418, 420, 421.

GOTTRET M. Y DUFOUR D. “Proyecto integrado de investigación y desarrollo de la producción y transformación de yuca para la obtención y comercialización de almidón agro de yuca: adopción e impacto”. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 1997. p.39.

INOUE, K. “Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira” [Trabajo de Grado]. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Facultad de ingeniería; 2008. 76p.

LUNA, W.A. *et al.* “Producción de dextrinas de yuca a partir del almidón nativo en la rallandería Todoyuca ubicada en el corregimiento de Pescador (municipio de Caldono-Cauca)”. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. p.2.

MANRIQUE, J. “Evaluación del desempeño de dos biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca”. [Trabajo de Grado]. Colombia: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. 1999. 104p.

MARMOLEJO, L. *et al.* “Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en pequeñas industrias de almidón de yuca”, 2008. p.1.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 4th ed. McGraw-Hill Inc., New. York, 2004.

MULYANTO, A. Y TITIRESMI., "Implementation of Anaerobic Process on Wastewater from Tapioca Starch Industries". Institute for Environmental Technology, Agency for the Assessment and Application of Technology Building 412, PuspiptekSerpong, Tangerang, Indonesia, 2002. p. 1, 16, 17.

MUÑOZ, L. Y LÓPEZ, J. "Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque". [Trabajo de Grado]. Medellín: Universidad de Medellín, Facultad de Ingeniería. 2011. 130p.

OVIEDO, A." Biodegradabilidad anaerobia del material soluble de aguas residuales provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca" [Trabajo de Grado]. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería; 1995. 105p.

PACHECO, V. *et al.* "Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales". En: Int. Contam. Ambient., México. vol. 19. No. 1, 2002. p. 48.

PÉREZ, A. *et al.* "Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca: influencia del inóculo". En: Ingeniería y Competitividad, Cali. vol. 8, No. 1, 2006. p. 51, 52.

PÉREZ, A. *et al.* "Tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Optimización de variables ambientales y operacionales". Universidad Nacional de Colombia, 2009. p. 139.

PISSINATTO, L. *et al.*, "Microbiological Adjustment of a Wastewater Treatment Pond System from a Cassava Starch Industry". Fundação Mokiti Okada, Centro de Pesquisa, Ipeúna, SP, Brazil, 2008. p. 1, 2.

Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Santander de Quilichao, 2000. Republica de Colombia. Departamento del Cauca. Municipio de Santander de Quilichao.

RIVIER, M. *et al.* "Almidón Agrio de Yuca en Colombia". Tomo 2. Planta Procesadora: Descripción de planos y equipos". CIAT, 2001. p. 3.

ROMERO, J. "Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño". 3ª Ed. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 1999. 1248p.

SAVITHA, S. *et al.* "A prototype of proposed treatment plant for sago factory effluent". En: Journal of Cleaner Production, Tamil Nadu, India. vol. 17, 2009. p. 1363, 1364.

.TORRES, P. *et al.* "Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de Almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte". En: Scientia et Technica, Cali. No. 23, 2003. p. 75-80.

TORRES, P. *et al.* “Extracción de almidón de yuca. Manejo integral y control de la contaminación hídrica”. En: *Livestock Research for Rural Development*, Cali. vol. 17, No. 74, 2005b.

TORRES, P. *et al.* “Producción Más Limpia aplicada al proceso de extracción de almidón de yuca”. Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental de la Universidad del Valle, 2005a. p. 3, 9,10.

UBALUA, A. O. “Cassava wastes: treatment options and value addition alternatives”. En: *African Journal of Biotechnology*, Umuahia, Abia State, Nigeria. vol. 6, No. 18, 2007. p. 2066 – 2068.

VAN DEN BROECK, R. *et al.* “Assessment of activated sludge stability in lab-scale experiments”. En: *Journal of Biotechnology*, Bélgica. Vol. 141, 2009.

VALENCIA, G. “Filtros biológicos”. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, 1976. p. 2, 6-10.

VIDAL, A. *et al.* “Tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Optimización de variables ambientales y operacionales”. Universidad del Valle, Facultad de ingeniería. Cali, 2009.p. 140.

WUN JERN, NG. “Industrial Wastewater Treatment”.Singapur: Imperial College Press, 2006. 153p.

ANEXOS

ANEXO A. Determinaciones in situ

Tabla 6. Datos de conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$).

Fecha	Entrada sedimentador de mancha ($\mu\text{s/cm}$)	Salidas sedimentador de mancha ($\mu\text{s/cm}$)	Salida tanques de aireación ($\mu\text{s/cm}$)	Salida sedimentadores tanques de aireación ($\mu\text{s/cm}$)	Salida FAFA N°1 ($\mu\text{s/cm}$)	Salida FAFA N°2 ($\mu\text{s/cm}$)	Salida filtro percolador ($\mu\text{s/cm}$)	Salida sedimentadores del filtro percolador ($\mu\text{s/cm}$)
Agosto 30	-	613	693	685	746	710	761	847
Septiembre 6	-	430	704	877	598	559	476	685
Octubre 4	956	36,9	0,05	-	36,5	136,3	17,06	-
	922	-	-	-	20,7	117,6	-	-
	863	-	-	-	-	-	-	-
	871	-	-	-	-	-	-	-
Octubre 11	622	667	892	875	885	872	583	680
Noviembre 15	935	715	956	828	899	872	901	924
Noviembre 17	30,6	782	828	832	918	860	863	868
Noviembre 22	849	552	736	832	446	422	562	501
Noviembre 24	286	670	609	627	893	866	873	757
	-	684	654	657	953	899	800	858
	-	-	-	-	-	-	674	724
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 29	326	417	492	535	522	515	380	452
	-	401	494	-	535	513	375	422
	-	420	453	540	527	489	370	396
	-	405	484	521	525	497	359	389
Diciembre 1	1184	860	388	367	621	671	912	704
	1192	1118	476	366	794	792	1084	887
	1058	1032	639	402	906	945	1099	1048
	-	853	681	413	916	962	1110	1087
Diciembre 7	-	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre 13	794	690	830	878	763	694	568	518
	-	-	-	-	-	-	-	489
	-	-	-	-	-	-	-	550
	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 7. Datos de oxígeno disuelto (mg/L).

Fecha	Entrada sedimentador de mancha (mg/L)	Salida sedimentador de mancha (mg/L)	Salida tanques de aireación (mg/L)	Salida sedimentadores tanques de aireación (mg/L)	Salida Fafa N°1 (mg/L)	Salida Fafa N°2 (mg/L)	Salida filtro percolador (mg/L)	Salida sedimentadores del filtro percolador (mg/L)
Agosto 30	-	0,84	0,37	0,33	0,37	0,58	1,56	1,25
Septiembre 6	-	1,2	0,5	0,47	0,68	0,68	0,46	0,44
Octubre 4	2,71	1,08	0,37	-	0,14	0,14	4,71	1,46
	2,77	1,4	0,29	-	0,12	0,14	4,07	0,22
	2,97	0,81	0,3	-	0,4	0,03	4,22	0,51
	2,86	0,8	0,08	-	-	-	4,37	0,45
Octubre 11	2,1	1,33	0,67	0,13	-	0,04	6,77	0
	3,56	1,14	0,73	0	0,06	0,02	4,17	0
	3,96	1,21	0,64	0	0,14	0,06	3,94	0
	4,16	1,55	0,61	0	0,1	0,03	3,61	0
Noviembre 15	-	1,35	0,75	0,37	0,44	0,47	3,9	0,26
	1,9	2,45	1,33	0,94	1,08	0,91	3,06	0,87
	2,35	1,47	1,02	0,59	1,12	1,19	3,62	0,66
	2,35	1,83	1,11	0,91	1,14	1,06	3,83	0,83
Noviembre 17	4,89	1,5	0,42	0,49	0,31	0,37	1,83	0,73
Noviembre 22	2,22	1,58	0,54	0,24	0,4	0,41	3,22	0,45
	1,36	1,58	0,57	0,22	0,44	0,37	3,19	0,4
	1,17	1,53	0,51	0,16	0,39	0,43	3,03	0,37
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 24	1,84	1,91	0,78	0,62	0,83	0,62	3,48	0,86
	-	1,34	0,68	0,44	0,54	0,52	3,08	0,44
	-	-	-	-	-	-	2,73	0,3
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 29	-	-	-	-	-	-	-	-
Diciembre 1	3,81	1,97	0,2	0,17	0,18	0,2	4,42	5,8
Diciembre 7	3,5	2,29	1,56	1,44	1,38	1,5	4,45	1,59
	4,65	2,93	1,29	1,16	1,2	1,05	4,5	1,18
	5,24	2,54	1	0,81	0,64	0,97	3,45	0,55
	3,26	1,72	0,55	0,42	0,42	0,55	2,25	0,53
Diciembre 13	0,12	0,95	0,39	0,25	0,06	0,03	0,02	0,02

Tabla 8. Datos de pH.

Fecha	Entrada sedimentador de mancha	Salida sedimentador de mancha	Salida tanques de aireación	Salida sedimentadores tanques de aireación	Salida FAFA N°1	Salida FAFA N°2	Salida filtro percolador	Salida sedimentadores del filtro percolador
Agosto 30	-	3,87	4,1	4,26	4,7	4,4	3,98	3,92
Septiembre 6	-	3,82	3,86	3,93	4,37	4,15	3,85	3,87
	-	3,85	3,9	3,93	4,44	4,3	3,85	3,87
Octubre 4	4,6	4,37	4,76	-	4,68	4,71	5,12	4,83
	4,62	4,61	4,42	-	4,52	4,68	4,65	4,46
	4,53	4,46	4,42	-	4,56	4,56	4,51	4,57
	4,5	4,95	4,34	-	4,5	4,59	4,67	4,51
Octubre 11	5,54	6,22	5,73	5,75	5,31	5,26	6,04	5,86
	5,05	5,3	5,09	5,07	4,75	4,79	5,3	5,19
	4,66	4,86	4,99	4,84	4,81	4,83	4,92	4,85
	4,46	4,6	4,55	4,58	4,64	4,62	4,77	4,66
Noviembre 15	-	5,93	5,8	5,59	5,15	5,14	5,48	5,66
	4,78	4,95	4,94	4,96	4,77	4,79	4,82	4,93
	4,88	4,83	4,83	4,84	4,81	4,78	4,8	4,8
	4,61	4,87	4,88	4,91	4,79	4,83	4,86	4,9
Noviembre 17	3,78	3,83	4,09	4,69	4,22	4,08	4,4	4,4
	3,82	3,79	4,08	4,5	4,19	4,04	4,19	4,33
	3,83	3,84	4,09	4,5	4,17	4,07	4,17	4,3
	-	3,79	3,95	4,27	4,09	4	4,52	4,17
Noviembre 22	3,23	3,05	3,84	4,23	4,19	4,05	3,81	4,04
Noviembre 24	3,39	4,6	3,87	4,8	4,1	4,37	4,94	4,83
	-	3,22	3,71	3,87	3,9	3,98	4,09	4,35
	-	-	-	-	-	-	4,33	4,12
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 29	4,45	3,83	4,14	4,61	4,61	4,47	4,48	4,7
	-	3,93	4,14	4,6	4,67	4,56	4,44	4,71
	-	3,93	4,14	4,63	4,66	4,6	4,41	4,65
	-	3,93	4,14	4,6	4,67	4,6	4,35	4,57
Diciembre 1	3,61	3,9	4,25	4,62	4,52	4,12	4,51	4,46
	3,8	4,05	4,23	4,38	4,21	4,06	4,19	4,12
	3,7	3,76	4,15	4,41	4,23	4,04	4,08	4,23
	-	4,14	4,21	4,35	4,41	4,15	4,1	4,23
Diciembre 7	3,91	3,78	3,86	4,52	4,31	3,99	4,07	4,02
	3,72	3,72	3,95	3,97	4,4	4,05	4,19	3,15
	5,32	4,47	3,9	4,41	4,31	4,06	4,56	4,14
	6,64	3,75	3,87	3,98	4,4	3,76	4,22	4,25
Diciembre 13	2,41	2,69	3,71	4,1	4,16	3,97	2,53	4,41
	-	3,72	3,95	3,97	4,4	4,05	4,19	4,33
	-	4,47	3,9	4,41	4,31	4,06	4,56	4,22
	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 9. Datos de temperatura (°C).

Fecha	Entrada sedimentador de mancha (°C)	Salida sedimentador de mancha (°C)	Salida tanques de aireación (°C)	Salida sedimentadores tanques de aireación (°C)	Salida FAFA N°1 (°C)	Salida FAFA N°2 (°C)	Salida filtro percolador (°C)	Salida sedimentadores del filtro percolador (°C)
Agosto 30	-	23,7	24,7	24,4	23,2	22,9	24,1	23,6
Septiembre 6	-	22,6	23,7	23,1	21,9	22	3,85	21,1
	-	22	23,7	22,9	22	21,8	3,85	21,3
Octubre 4	21,6	20,8	22,4	-	21,5	21,6	20,03	20,6
	26,9	23	23,8	-	25	22,4	23,1	21,1
	21,4	21,5	23,3	-	22,5	22,1	22,7	22,8
	20,7	21	22,3	-	21,4	21,6	21,4	21,3
Octubre 11	23,4	22,3	23	22,4	22,9	23,2	21,5	22,1
	22,5	24,9	24,4	25,9	25,9	25,4	24,3	23,1
	25,9	25,8	24,1	25,4	26,1	28,6	22,9	23
	28,7	29,1	28,1	26,8	26,1	26,9	27,4	27,1
Noviembre 15	-	21,6	21,2	21,4	21,6	21,3	21,3	21
	22,5	23,1	23,2	23,8	23,1	23,3	23,8	22,7
	22,8	23,8	23,9	23,1	22,8	23,5	23,7	23
	23,4	22,8	23,5	22,9	22,3	23	22,8	22,7
Noviembre 17	21,5	22,4	23,6	23,9	21,6	21,7	21,4	21,3
	22,3	22,5	24	23,4	22	22,2	22,9	21,7
	21,7	24	24,4	23,7	22,3	22,4	23,7	22,3
	-	22,6	24,2	23,9	22,9	22,7	23,6	23,2
Noviembre 22	-	24,1	26,6	23,8	25,4	24	24,5	21,7
	24,8	24,4	23,9	23,6	23,2	23,2	23,4	21,7
	25,9	24,1	23,9	23,8	22,5	22,1	23,3	22,2
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 24	21,4	21,8	22,8	23,4	21,3	21,4	20,5	20,9
	-	22,5	23,3	23,4	21,8	21,8	21,3	21
	-	-	-	-	-	-	22,3	22,3
	-	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre 29	23,1	21,8	22,9	23	22,2	22,2	21	22
	-	21,9	22,9	23	22	21,9	21,6	21,6
	-	22	22,8	23	22,1	22	21,7	21,6
	-	22	23	23	22,1	22	22	21,6
Diciembre 1	21,8	22	22,8	22,7	22,1	22,2	21,7	21,6
	21,9	22,5	23,1	22,8	22,3	22,4	22,5	22
	22	23,2	24	23,2	23	22,8	23,4	22,9
	-	23,5	24,3	23,6	23,1	22,8	23,5	23,3
Diciembre 7	21	20,3	22,5	23	21,2	21	20,5	22
	20	20,6	22,4	22,9	21,4	21,2	21,1	21,6
	19,9	21,5	22,8	23,1	21,6	21,6	21,6	21,6
	21,3	21,9	22,8	23	21,9	21,1	22,2	21,7
Diciembre 13	22,3	20,7	21,3	21,6	21,2	20,9	20,3	20,7
	-	20,6	22,4	22,9	21,4	21,2	21,1	20,7
	-	21,5	22,8	23,1	21,6	21,6	21,6	20,8

ANEXO B. Datos obtenidos para caudal (L/s).

Tabla 10. Caudal (L/s) para 30 de agosto.

Punto	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal Promedio (m³/10h)
Entrada de Tanque de Aireacion	2,89	650	0,22	0,23	8,45
	2,62	640	0,24		
Entrada Sedimentadores de Tanque de Aireacion	2,56	437	0,17	0,17	6,06
	2,65	440	0,17		
Salida FAFA N°1	2,97	830	0,28	0,28	10,06
Salida FAFA N°2	1,93	710	0,37	0,40	14,32
	1,57	670	0,43		
	1,98	790	0,40		
Salida del Filtro Percolador	1,66	1700	1,024	1,00	35,92
	1,57	1840	1,172		
	2,47	2090	0,846		
	2,16	2050	0,949		

Tabla 11. Caudal (L/s) para 6 de septiembre.

Punto	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal Promedio (m3/10h)
Entrada de Tanque de Aireación	3,42	530	0,15	0,16	5,65
	2,56	410	0,16		
	2,25	350	0,16		
Entrada Sedimentadores de Tanque de Aireación	2,74	415	0,15	0,15	5,56
	2,7	460	0,17		
	2,38	345	0,14		
	2,61	395	0,15		
Salida FAFA N°1	2,06	270	0,13	0,12	4,28
	2,11	270	0,13		
	2,52	235	0,09		
	2,02	250	0,12		
Salida FAFA N°2	2,02	275	0,14	0,14	4,94
	2,52	345	0,14		
	2,56	350	0,14		
	2,52	350	0,14		
Salida del Filtro Percolador	2,61	2350	0,90	0,88	31,58
	2,43	2066	0,85		
	2,43	2139	0,88		
	1,93	1695	0,88		

Tabla 12. Caudal (L/s) para 4 de octubre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (s)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (s)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (s)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal (m³/10h)
1	4,95	230	0,05	0,05	1,67	4,68	223	0,05	0,05	1,71	4,5	230	0,05	0,05	1,78
	4,86	220	0,05			4,41	210	0,05			4,63	237	0,05		
	4,9	226	0,05			4,63	220	0,05			4,68	219	0,05		
	4,63	215	0,05			4,54	213	0,05			4,77	215	0,05		
	4,32	207	0,05			4,41	212	0,05			4,5	238	0,05		
2	4,36	209	0,05	0,05	1,73	4	200	0,05	0,05	1,81	4,36	211	0,05	0,05	1,75
	4,5	218	0,05			3,8	193	0,05			4,77	229	0,05		
	4,68	223	0,05			3,78	190	0,05			4,68	228	0,05		
	4,45	214	0,05			3,6	184	0,05			4,45	215	0,05		
	4,63	220	0,05			4,14	205	0,05			4,5	225	0,05		

Continuación Tabla 12.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (s)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (s)	Volumen (ml)	Caudal (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Caudal (m³/10h)
1	4,68	224	0,05	0,05	1,72	3,01	1887	0,63	0,63	22,72
	4,63	221	0,05			2,92	1873	0,64		
	4,68	220	0,05			2,65	1653	0,62		
	4,77	232	0,05			3,19	2007	0,63		
	4,5	213	0,05			2,97	1883	0,63		
2	4,83	237	0,05	0,05	1,73	3,37	2010	0,60	0,60	21,47
	4,75	229	0,05			3,42	2060	0,60		
	4,68	221	0,05			3,55	2074	0,58		
	4,57	216	0,05			3,33	1980	0,59		
	4,8	235	0,05			3,64	2200	0,60		

Tabla 13. Caudal (m³/día) para 11 de octubre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	4,86	390	0,08	0,08	2,84	4,23	260	0,06	0,07	2,44	1,75	180	0,10	0,10	3,71
	4,9	390	0,08			4,23	300	0,07			1,9	190	0,10		
	4,77	375	0,08			4,45	305	0,07			1,84	195	0,11		
	5,04	395	0,08			4,27	290	0,07			1,8	185	0,10		
	5,08	395	0,08			4,09	285	0,07			1,94	200	0,10		
2	4,9	320	0,07	0,07	2,37	4,59	290	0,06	0,07	2,40	1,66	160	0,10	0,09	3,39
	4,81	320	0,07			4,32	280	0,06			1,62	140	0,09		
	4,68	310	0,07			4,18	280	0,07			1,8	180	0,10		
	5,08	340	0,07			4,59	320	0,07			1,98	180	0,09		
	4,95	315	0,06			4,68	320	0,07			1,75	170	0,10		
3	5,09	270	0,05	0,06	2,17	5,32	330	0,06	0,06	2,23	1,72	120	0,07	0,07	2,47
	5,4	330	0,06			4,5	280	0,06			1,63	115	0,07		
	4,55	280	0,06			4,57	280	0,06			1,84	125	0,07		
	4,5	280	0,06			4,38	275	0,06			1,69	110	0,07		
	4,71	300	0,06			4,72	290	0,06			1,72	120	0,07		
4	5,28	220	0,04	0,04	1,56	4,25	230	0,05	0,05	1,87	1,88	120	0,06	0,07	2,47
	5,22	225	0,04			4,4	220	0,05			1,81	120	0,07		
	5,13	230	0,04			4,37	230	0,05			1,56	110	0,07		
	4,94	215	0,04			4,69	240	0,05			1,59	115	0,07		
	5,25	230	0,04			4,41	230	0,05			1,57	110	0,07		

Tabla 14. Caudal (L/s) para 11 de octubre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	1,98	220	0,11	0,12	4,17	1,84	1310	0,71	0,81	29,15
	1,93	220	0,11			1,89	1215	0,64		
	1,75	210	0,12			1,84	2380	1,29		
	1,93	215	0,11			1,66	1135	0,68		
	1,72	210	0,12			1,8	1290	0,72		
2	1,62	170	0,10	0,10	3,73	1,66	1210	0,73	0,71	25,65
	1,53	160	0,10			1,84	1310	0,71		
	1,89	200	0,11			1,93	1290	0,67		
	1,71	175	0,10			1,62	1170	0,72		
	1,98	200	0,10			1,93	1410	0,73		
3	2	130	0,07	0,06	2,21	1,72	1220	0,71	0,68	24,32
	2,06	125	0,06			1,5	1050	0,70		
	2,35	140	0,06			1,72	1140	0,66		
	2	125	0,06			2	1275	0,64		
	2,09	125	0,06			1,6	1070	0,67		
4	1,53	100	0,07	0,07	2,41	1,56	1000	0,64	0,65	23,38
	1,69	110	0,07			1,75	1140	0,65		
	1,62	115	0,07			1,53	1020	0,67		
	1,78	120	0,07			1,81	1160	0,64		
	1,6	105	0,07			1,6	1035	0,65		

Tabla 15. Caudal (L/s) para 15 de noviembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)
1	4,13	420	0,10	0,10	3,66	3,01	330	0,11	0,11	3,86	4	265	0,07	0,07	2,36
	4,32	450	0,10			3,29	350	0,11			4,18	280	0,07		
	4,42	440	0,10			2,95	305	0,10			4,32	290	0,07		
	3,74	380	0,10			3,14	340	0,11			4,41	290	0,07		
	3,53	360	0,10			3,33	360	0,11			4,25	260	0,06		
2	4,22	400	0,09	0,10	3,49	3,27	320	0,10	0,10	3,54	4,02	270	0,07	0,07	2,46
	4,44	430	0,10			3,2	300	0,09			4,2	280	0,07		
	4,22	410	0,10			3,71	370	0,10			4,02	270	0,07		
	4,47	440	0,10			3,13	310	0,10			4,27	300	0,07		
	4,21	410	0,10			3,23	325	0,10			4,14	290	0,07		
3	4,61	475	0,10	0,10	3,71	3,12	440	0,14	0,16	5,80	1,19	370	0,31	0,26	941
	4,56	470	0,10			3,21	500	0,16			1,44	380	0,26		
	4,56	470	0,10			3,3	560	0,17			1,16	330	0,28		
	4,6	485	0,11			3,14	530	0,17			1,18	280	0,24		
	4,58	460	0,10			3,06	520	0,17			1,28	270	0,21		
4	4,26	640	0,15	0,15	5,38	3,03	435	0,14	0,14	5,13	2,18	300	0,14	0,14	5,04
	4,48	670	0,15			2,95	420	0,14			2,15	295	0,14		
	4,28	640	0,15			3,18	450	0,14			2,23	315	0,14		
	4,34	645	0,15			3,23	450	0,14			2,2	315	0,14		
	4,27	640	0,15			3,09	450	0,15			2,2	310	0,14		

Tabla 16. Caudal (L/s) para 15 de noviembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	3,95	240	0,06	0,06	2,15	2,25	1000	0,44	0,46	16,72
	3,68	220	0,06			2,4	1110	0,46		
	3,96	235	0,06			2,28	1070	0,47		
	3,71	220	0,06			1,81	890	0,49		
	4,2	250	0,06			2,31	1050	0,45		
2	4,14	380	0,09	0,09	3,37	2,17	960	0,44	0,51	18,45
	4,28	395	0,09			2,27	1030	0,45		
	3,87	370	0,10			2,05	940	0,46		
	4	375	0,09			1,56	1160	0,74		
	4,35	410	0,09			2,48	1150	0,46		
3	2,09	330	0,16	0,15	5,48	2,11	970	0,46	0,46	16,55
	2,09	325	0,16			2,18	985	0,45		
	2,19	330	0,15			2,24	1050	0,47		
	2,15	320	0,15			2,24	1045	0,47		
	2,03	300	0,15			2,18	985	0,45		
4	2,05	360	0,18	0,17	6,26	2,11	990	0,47	0,47	16,91
	2,05	350	0,17			2,15	990	0,46		
	2,08	370	0,18			2,1	985	0,47		
	2,11	360	0,17			2,13	1020	0,48		
	2,17	380	0,18			2,06	970	0,47		

Tabla 17. Caudal (L/s) para 17 de noviembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	3,11	730	0,23	0,23	8,11	2,21	460	0,21	0,21	7,48	1	490	0,49	0,42	15,28
	3,28	720	0,22			2,18	445	0,20			1,03	430	0,42		
	3,2	700	0,22			2,12	440	0,21			0,94	400	0,43		
	3,21	720	0,22			2,21	450	0,20			1,18	460	0,39		
	3,05	700	0,23			2,13	460	0,22			1,1	440	0,40		
2	3,19	700	0,22	0,22	8,09	2,09	380	0,18	0,17	6,24	1,08	400	0,37	0,38	13,53
	3,16	740	0,23			2,16	390	0,18			1,07	410	0,38		
	3,24	720	0,22			2,04	350	0,17			1,04	390	0,38		
	3,19	710	0,22			2,03	335	0,17			1,02	380	0,37		
	3,24	730	0,23			2,14	360	0,17			1,03	390	0,38		
3	2,02	420	0,21	0,42	15,12	2,1	320	0,15	0,16	5,59	0,29	740	2,55	1,55	55,93
	2,32	460	0,20			2,24	350	0,16			0,47	720	1,53		
	2,14	455	0,21			2,31	355	0,15			0,57	700	1,23		
	2,1	1590	0,76			2,07	310	0,15			0,57	680	1,19		
	2,07	1500	0,72			2,13	350	0,16			0,57	720	1,26		
4	2,21	300	0,14	0,14	5,03	1,02	615	0,60	0,61	21,92	1,58	300	0,19	0,19	6,76
	2,29	330	0,14			0,88	540	0,61			1,4	290	0,21		
	2,29	320	0,14			0,97	590	0,61			1,34	240	0,18		
	2,18	310	0,14			1,04	630	0,61			1,28	235	0,18		
	2,11	290	0,14			0,88	540	0,61			1,39	250	0,18		

Tabla 18. Caudal (L/s) para 17 de noviembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	1,01	500	0,50	0,51	18,32	2,3	1150	0,50	0,51	18,33
	0,9	480	0,53			2,14	1100	0,51		
	1,17	540	0,46			2,19	1130	0,52		
	1,01	530	0,52			2,29	1140	0,50		
	1	530	0,53			2,18	1130	0,52		
2	1,02	520	0,51	0,49	17,63	1,98	1030	0,52	0,51	18,40
	1	470	0,47			2,13	1075	0,50		
	1,14	510	0,45			2,11	1090	0,52		
	0,98	500	0,51			2,17	1090	0,50		
	0,94	480	0,51			2,03	1040	0,51		
3	0,47	730	1,55	1,54	55,49	2,19	1070	0,49	0,49	17,774
	0,48	760	1,58			2,05	1030	0,50		
	0,43	740	1,72			1,97	985	0,50		
	0,51	660	1,29			2,13	1040	0,49		
	0,54	840	1,56			2,17	1060	0,49		
4	0,73	850	1,16	1,16	41,65	1,3	710	0,55	0,56	20,04
	0,81	950	1,17			1,21	690	0,57		
	0,75	830	1,11			1,23	710	0,58		
	0,72	830	1,15			1,26	680	0,54		
	0,8	950	1,19			1,31	720	0,55		

Tabla 19. Caudal (L/s) para 22 de noviembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	2,02	350	0,17	0,17	6,23	1,68	290	0,17	0,18	6,52	2,25	350	0,16	0,16	5,64
	2,11	360	0,17			1,77	328	0,19			2,32	360	0,16		
	2,14	370	0,17			1,68	320	0,19			2,02	325	0,16		
	2,12	365	0,17			1,73	310	0,18			2,25	350	0,16		
	2,15	380	0,18			1,74	310	0,18			2,27	355	0,16		
2	2,09	370	0,18	0,18	6,32	2,12	320	0,15	0,15	5,31	1,61	240	0,15	0,15	5,53
	2,05	360	0,18			2,05	300	0,15			1,75	260	0,15		
	2,13	380	0,18			2,18	320	0,15			1,51	240	0,16		
	2,13	370	0,17			2,07	310	0,15			1,81	270	0,15		
	2,06	355	0,17			2,01	300	0,15			1,54	250	0,16		
3	2,12	345	0,16	0,16	5,93	2,09	330	0,16	0,16	5,81	2,11	280	0,13	0,13	4,63
	2,11	345	0,16			2,02	320	0,16			2,37	300	0,13		
	2,22	370	0,17			2,11	345	0,16			2,46	310	0,13		
	2,06	340	0,17			2,17	355	0,16			2,1	265	0,13		
	2,2	365	0,17			2,21	360	0,16			2,09	275	0,13		
4	2,06	370	0,18	0,17	6,21	2,12	360	0,17	0,17	6,12	1,55	200	0,13	0,13	4,68
	2,17	380	0,18			2,23	385	0,17			1,64	240	0,15		
	2,03	350	0,17			2,14	365	0,17			2,01	240	0,12		
	2,23	380	0,17			2,2	370	0,17			1,56	200	0,13		
	2,24	370	0,17			2,14	360	0,17			1,62	205	0,13		

Tabla 20. Caudal (L/s) para 22 de noviembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	1,67	335	0,20	0,21	7,49	1,09	530	0,49	0,51	18,19
	1,49	320	0,21							
	1,62	330	0,20							
	1,53	320	0,21							
	1,7	360	0,21							
2	1,57	290	0,18	0,19	6,71	1,02	560	0,55	0,54	19,45
	1,61	300	0,19							
	1,64	310	0,19							
	1,71	310	0,18							
	1,68	320	0,19							
3	2,19	310	0,14	0,16	5,75	1,32	710	0,54	0,51	18,44
	2,08	340	0,16							
	2,05	340	0,17							
	2,04	345	0,17							
	2,01	320	0,16							
4	1,7	270	0,16	0,16	5,78	1,12	590	0,53	0,53	19,24
	1,4	245	0,18							
	1,76	280	0,16							
	1,64	250	0,15							
	1,65	260	0,16							

Tabla 21. Caudal (L/s) para 24 de noviembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	2	260	0,13	0,12	4,17	2,21	200	0,09	0,09	3,29	3,22	240	0,07	0,07	2,47
	2,2	310	0,14			2,1	195	0,09			3,6	250	0,07		
	2,32	300	0,13			2,2	200	0,09			3,37	220	0,07		
	2,43	220	0,09			2,07	190	0,09			3,28	215	0,07		
	2,16	190	0,09			2,15	195	0,09			3,53	240	0,07		
2	1,94	570	0,29	0,28	10,21	1,96	570	0,29	0,19	6,73	2,24	240	0,11	0,10	3,64
	2,11	600	0,28			2,63	450	0,17			2,41	250	0,10		
	2,05	590	0,29			2,14	350	0,16			2,48	240	0,10		
	2,14	590	0,28			2,27	360	0,16			2,34	235	0,10		
	2,13	590	0,28			2,65	400	0,15			2,46	240	0,10		
3	2,6	220	0,08	0,09	3,35	1,94	170	0,09	0,09	3,08	-	-	-	-	-
	2,49	230	0,09			2,33	190	0,08			-	-	-	-	-
	2,43	230	0,09			2,17	180	0,08			-	-	-	-	-
	2,46	240	0,10			1,96	170	0,09			-	-	-	-	-
	2,35	225	0,10			2,03	180	0,09			-	-	-	-	-

Tabla 22. Caudal (L/s) para 24 de noviembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	4,09	290	0,07	0,09	3,27	1,25	690	0,55	0,57	20,51
	3,34	280	0,08			1,24	700	0,56		
	3,27	310	0,09			1,1	640	0,58		
	3,86	390	0,10			1,16	660	0,57		
	3,68	380	0,10			1,24	720	0,58		
2	2,59	200	0,08	0,08	2,85	1,34	750	0,56	0,56	20,08
	2,77	220	0,08			1,47	810	0,55		
	2,49	205	0,08			1,52	850	0,56		
	2,67	210	0,08			1,29	730	0,57		
	2,55	200	0,08			1,59	880	0,55		
3	-	-	-	-	-	1,2	700	0,58	0,56	20,14
	-	-	-	-	-	1,33	750	0,56		
	-	-	-	-	-	1,27	700	0,55		
	-	-	-	-	-	1,41	770	0,55		
	-	-	-	-	-	1,23	680	0,55		
4	-	-	-	-	-	1,52	820	0,54	0,55	19,96
	-	-	-	-	-	1,53	860	0,56		
	-	-	-	-	-	1,31	710	0,54		
	-	-	-	-	-	1,5	840	0,56		
	-	-	-	-	-	1,37	780	0,57		

Tabla 23. Caudal (L/s) para 29 de noviembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	3,02	250	0,08	0,08	2,87	2,23	180	0,08	0,08	2,92	3,72	180	0,05	0,05	1,81
	3,4	270	0,08			2,49	205	0,08			3,26	165	0,05		
	3,26	260	0,08			2,5	210	0,08			3,34	170	0,05		
	3,46	270	0,08			2,24	190	0,08			3,61	180	0,05		
	3,03	240	0,08			2,09	155	0,07			3,72	190	0,05		
2	3,49	260	0,07	0,07	2,62	2,08	170	0,08	0,08	3,04	3,28	160	0,05	0,05	1,72
	3,59	260	0,07			1,97	150	0,08			3,11	145	0,05		
	3,65	270	0,07			2,08	180	0,09			3,23	160	0,05		
	3,27	240	0,07			2,21	200	0,09			3,43	155	0,05		
	3,6	250	0,07			2,12	185	0,09			3,53	170	0,05		
3	3,22	220	0,07	0,07	2,51	3,17	210	0,07	0,07	2,40	3,3	150	0,05	0,04	1,60
	3,23	220	0,07			3,12	210	0,07			3,1	135	0,04		
	3,25	230	0,07			3,33	220	0,07			3,27	140	0,04		
	3,19	225	0,07			3,1	210	0,07			3,31	150	0,05		
	3,34	235	0,07			3,05	200	0,07			3,3	150	0,05		
4	3,28	215	0,07	0,06	2,12	3,08	200	0,06	0,06	2,33	3,15	130	0,04	0,04	1,45
	3,35	220	0,07			3,1	210	0,07			3,33	140	0,04		
	3,21	160	0,05			3,14	200	0,06			3,31	135	0,04		
	3,35	210	0,06			3,14	200	0,06			3,23	125	0,04		
	3,2	160	0,05			3,02	190	0,06			3,16	120	0,04		

Tabla 24. Caudal (L/s) para 29 de noviembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	3,26	170	0,05	0,05	1,93	1,2	780	0,65	0,65	23,24
	3,53	190	0,05			1,18	740	0,63		
	3,32	180	0,05			1,1	720	0,65		
	3,62	190	0,05			1,19	770	0,65		
	3,84	210	0,05			1,11	720	0,65		
2	2,96	145	0,05	0,05	1,83	1,3	890	0,68	0,67	24,07
	3,41	170	0,05			1,35	890	0,66		
	3,7	180	0,05			1,25	870	0,70		
	3,9	215	0,06			1,4	890	0,64		
	3,44	175	0,05			1,28	855	0,67		
3	3,08	140	0,05	0,05	1,66	1,21	755	0,62	0,62	22,19
	3,22	150	0,05			1,3	770	0,59		
	3,26	155	0,05			1,21	765	0,63		
	3,08	140	0,05			1,25	760	0,61		
	3,23	145	0,04			1	625	0,63		
4	3,19	120	0,04	0,04	1,30	1,51	750	0,50	0,52	18,77
	3,21	120	0,04			1,34	730	0,54		
	3,16	110	0,03			1,31	710	0,54		
	3,14	110	0,04			1,59	770	0,48		
	3,24	115	0,04			1,28	690	0,54		

Tabla 25. Caudal (L/s) para 1 de diciembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	1,99	640	0,32	0,33	1,00	2,07	680	0,33	0,35	12,42	0,96	430	0,45	0,46	16,72
	2,13	700	0,33			2,1	710	0,34			0,89	425	0,48		
	2,15	670	0,31			2,08	740	0,36			1	460	0,46		
	2,02	730	0,36			2	690	0,35			0,87	410	0,47		
	2,04	700	0,34			2,04	730	0,36			1,01	470	0,47		
2	2,16	670	0,31	0,31	11,16	2,15	645	0,30	0,32	11,55	0,86	430	0,50	0,48	17,27
	2,12	630	0,30			2,07	625	0,30			1,01	460	0,46		
	2,14	670	0,31			2,1	630	0,30			0,84	420	0,50		
	2,2	690	0,31			2,01	710	0,35			0,98	450	0,46		
	2,15	680	0,32			2,09	730	0,35			0,93	450	0,48		
3	2,08	635	0,31	0,30	10,93	2,22	680	0,31	0,32	11,37	0,9	515	0,57	0,57	20,39
	2,16	655	0,30			2,05	640	0,31			0,75	400	0,53		
	2,03	610	0,30			1,99	630	0,32			0,82	500	0,61		
	2,2	660	0,30			2,03	650	0,32			0,76	400	0,53		
	2,1	650	0,31			2,07	670	0,32			0,83	490	0,59		
4	2,02	640	0,32	0,31	10,99	2,07	600	0,29	0,30	10,77	2,3	240	0,10	0,10	3,65
	2,04	615	0,30			2,1	615	0,29			2,21	230	0,10		
	2,04	640	0,31			2,26	700	0,31			2,27	225	0,10		
	2,11	620	0,29			2,14	650	0,30			2,07	210	0,10		
	2,16	650	0,30			2,15	645	0,30			2,24	220	0,10		

Tabla 26. Caudal (L/s) para 1 de diciembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	0,66	540	0,82	0,80	28,80	1,34	920	0,69	0,69	24,79
	0,9	685	0,76			1,47	1000	0,68		
	0,82	620	0,76			1,18	850	0,72		
	0,59	510	0,86			1,28	850	0,66		
	0,65	520	0,80			1,3	900	0,69		
2	0,77	600	0,78	0,77	27,74	1,26	890	0,71	0,71	25,42
	0,81	605	0,75			1,25	880	0,70		
	0,66	575	0,87			1,24	900	0,73		
	0,89	620	0,70			1,31	910	0,69		
	0,79	600	0,76			1,3	910	0,70		
3	0,69	530	0,77	0,81	29,03	1,17	890	0,76	0,74	26,48
	0,74	600	0,81			1,23	895	0,73		
	0,77	640	0,83			1,21	910	0,75		
	0,67	570	0,85			1,17	870	0,74		
	0,7	540	0,77			1,24	860	0,69		
4	2,25	320	0,14	0,14	4,99	1,29	870	0,67	0,68	24,34
	2,17	290	0,13			1,16	820	0,71		
	2,21	310	0,14			1,22	810	0,66		
	2,09	280	0,13			1,27	850	0,67		
	2,13	305	0,14			1,05	700	0,67		

Tabla 27. Caudal (L/s) para 7 de diciembre.

	Entrada de sistema de aireación					Entrada sedimentadores de aireación					Salida FAFA N°1				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m ³ /10h)
1	2,55	560	0,22	0,21	7,41	1,74	290	0,17	0,17	6,14	2,14	230	0,11	0,10	3,75
	2,32	480	0,21			1,65	280	0,17			2,16	225	0,10		
	2,44	440	0,18			1,74	300	0,17			2,47	250	0,10		
	2,5	540	0,22			1,8	310	0,17			2,31	240	0,10		
	-	-	-			1,6	275	0,17			2,26	235	0,10		
2	1,44	570	0,40	0,38	13,61	2,02	470	0,23	0,23	8,43	0,97	410	0,42	0,45	16,02
	1,5	560	0,37			2	470	0,24			1,11	470	0,42		
	1,58	580	0,37			2,04	475	0,23			1,01	500	0,50		
	1,49	570	0,38			1,94	450	0,23			1,07	505	0,47		
	1,56	580	0,37			2,06	490	0,24			1,14	470	0,41		
3	1,3	520	0,40	0,41	14,65	1,51	470	0,31	0,33	11,74	2,08	310	0,15	0,15	5,39
	1,2	510	0,43			1,4	460	0,33			1,98	295	0,15		
	1,23	500	0,41			1,37	450	0,33			2,18	335	0,15		
	1,27	515	0,41			1,57	480	0,31			2,04	295	0,14		
	1,36	540	0,40			1,25	445	0,36			2,16	330	0,15		
4	2,01	400	0,20	0,20	7,14	2,18	400	0,18	0,20	7,14	1,7	250	0,15	0,14	4,99
	2,11	420	0,20			2,07	400	0,19			1,67	230	0,14		
	2	395	0,20			2,11	450	0,21			1,5	210	0,14		
	2	400	0,20			2,13	410	0,19			1,4	190	0,14		
	2,07	405	0,20			2,01	420	0,21			1,82	240	0,13		

Tabla 28. Caudal (L/s) para 7 de diciembre.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)
1	2,36	250	0,11	0,11	3,90	1,28	925	0,72	0,68	24,60
	2,34	255	0,11			1,22	830	0,68		
	2,27	240	0,11			1,36	930	0,68		
	2,28	250	0,11			1,29	870	0,67		
	2,33	260	0,11			1,25	820	0,66		
2	0,92	580	0,63	0,57	20,60	1,18	880	0,75	0,65	23,43
	1,07	590	0,55			1,28	900	0,70		
	1	565	0,57			2,27	875	0,39		
	0,97	560	0,58			1,23	860	0,70		
	1,1	590	0,54			1,2	865	0,72		
3	1,83	370	0,20	0,20	7,06	1,3	990	0,76	0,73	26,26
	1,78	340	0,19			1,34	970	0,72		
	1,5	300	0,20			1,25	900	0,72		
	1,68	320	0,19			1,24	900	0,73		
	1,47	290	0,20			1,2	860	0,72		
4	1,76	300	0,17	0,18	6,38	1,15	750	0,65	0,65	23,26
	1,57	290	0,18			1,12	740	0,66		
	1,65	290	0,18			1,18	740	0,63		
	1,54	285	0,19			1,17	750	0,64		
	1,76	300	0,17			1,2	780	0,65		

Tabla 29. Caudal (L/s) para 13 de diciembre.

	Entrada de sistema de aireación				Entrada sedimentadores de aireación				Salida FAFA N°1						
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)
1	4,11	630	0,15	0,15	5,56	3,18	480	0,15	0,15	5,53	3,05	280	0,09	0,09	3,34
	4,26	650	0,15			3,08	475	0,15			3,27	300	0,09		
	4,1	640	0,16			3,2	500	0,16			3,04	275	0,09		
	4,24	660	0,16			3	460	0,15			3,18	310	0,10		
2	4,02	450	0,11	0,11	3,98	3,22	350	0,11	0,11	3,87	4	260	0,07	0,07	2,35
	4,2	475	0,11			3,15	340	0,11			4,04	250	0,06		
	4,13	460	0,11			3,21	345	0,11			3,99	240	0,06		
	4,08	430	0,11			3,13	330	0,11			4,05	300	0,07		
3	3,83	400	0,10	0,11	4,10	3,91	410	0,10	0,10	3,77	4,25	250	0,06	0,06	2,16
	3,2	440	0,14			3,33	350	0,11			4,51	275	0,06		
	4,08	435	0,11			3,36	355	0,11			4,36	260	0,06		
	3,94	420	0,11			3,28	340	0,10			4,82	290	0,06		


Continuación Tabla 29.

	Salida FAFA N°2					Salida filtro percolador				
	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)	Tiempo (seg)	Volumen (ml)	Caudal (L/seg)	Caudal Promedio (L/seg)	Caudal (m³/10h)
1	2,28	290	0,13	0,13	4,65	1,27	730	0,57	0,57	20,36
	2,08	270	0,13			1,29	725	0,56		
	2,22	280	0,13			1,17	680	0,58		
	2,03	270	0,13			1,24	675	0,54		
2	3,9	210	0,05	0,06	2,07	1,04	540	0,52	0,52	18,89
	2,94	160	0,05			1,2	620	0,52		
	2,97	180	0,06			1,18	630	0,53		
	3,09	190	0,06			1,02	540	0,53		
3	4,37	220	0,05	0,05	1,79	1,1	570	0,52	0,54	19,38
	4,25	210	0,05			1,26	700	0,56		
	4,01	200	0,05			1	550	0,55		
	4,23	210	0,05			1	530	0,53		

ANEXO C. Reporte de resultados de laboratorio (CRC).

Figura 17. Reporte 30 de agosto

Reporte N° 145



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Septiembre 8 de 2011


Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Agosto 30 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Agosto 30, 31, septiembre 2 y 5.

Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0484	Salida sedimentador primario
W0485	Salida tanques de aireación
W0486	Salida sedimentadores, tanque de aireación
W0487	Salida FAFA 1
W0488	Salida FAFA 2
W0489	Salida filtro percolador
W0490	Salida sedimentadores, filtro percolador

Parámetro / método		
Parámetro	Método	Unidad
pH	SM 4500-H B	UPC
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm.
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L
DBO ₅ Filtrada	SM2540D /SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO Filtrada	SM2540D /SM5220D	mg/L

Reporte N° 145



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4


Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	DBO Filtrada	DQO Filtrada	SST	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
W0484	1149	1883	933	1730	123	4.29	613	0.84
W0485	1299	2149	992	1853	165	4.32	693	0.37
W0486	1362	2344	1104	2278	155	4.38	685	0.33
W0487	1346	2497	1016	2469	85.0	4.78	746	0.37
W0488	1268	2274	915	2001	113	4.68	710	0.58
W0489	1548	2000	1104	2010	257	4.17	761	1.56
W0490	1497	2626	1119	2380	327	4.13	847	1.25


DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 062-8203251 www.crc.gov.co
Línea verde 01800052365
Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 18. Reporte 6 de septiembre.

Reporte N° 154



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Septiembre 13 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Septiembre 6 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Septiembre 7, 8, 9 y 12.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0519	Salida sedimentador primario
W0520	Salida tanques de aireación
W0521	Salida sedimentadores, tanque de aireación
W0522	Salida FAFA 1
W0523	Salida FAFA 2
W0524	Salida filtro percolador
W0525	Salida sedimentadores, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
pH	SM 4500-H B	UPC
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L
DBO ₅ Filtrada	SM2540D /SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO Filtrada	SM2540D /SM5220D	mg/L

Reporte N° 154



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-4


LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	DBO Filtrada	DQO Filtrada	SST	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
W0519	801	1627	732	1569	178	4.64	430	1.20
W0520	1639	2572	1399	2267	258	4.30	704	0.50
W0521	1779	2744	1740	2505	180	4.15	877	0.47
W0522	1531	2333	1240	2144	105	4.57	598	0.68
W0523	1384	2230	1099	1796	123	4.46	559	0.68
W0524	1020	1864	817	1774	200	4.11	476	0.46
W0525	1554	2550	1287	2337	208	4.05	685	0.44


DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
 Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 092-8203251 www.crc.gov.co
 Línea verde 01800952955
 Laboratorio: Viviero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 19. Reporte 4 de octubre.

Reporte N° 171



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
NIT 591.501.855-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Octubre 10 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Octubre 5 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Octubre 5 y 10.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0584	Entrada sedimentador de mancha
W0585	Salida sedimentador de mancha
W0586	Salida tanques de aireación
W0587	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0588	Salida FAFa 1
W0589	Salida FAFa 2
W0590	Salida filtro percolador
W0591	Salida sedimentadores, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 171



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
NIT 591.501.855-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST
W0584	2502	3789	933
W0585	2063	3142	356
W0586	2466	3352	692
W0587	2108	3263	280
W0588	3084	3805	250
W0589	2976	4100	270
W0590	1764	2843	542
W0591	2075	3036	440

DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
 Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Duseñas Hbx. 8203232 Fax 052-8203251 35300.ATC.025.03
 Línea verde C18000932655
 Laboratorio: Viviero La Florida Tele/fax: (2)8245602

Figura 20. Reporte 11 de octubre.

Reporte N° 172



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.901.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS -MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Octubre 24 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28

Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías

Teléfono: 8203232

Fecha de Recepción: Octubre 11 de 2011.
Fecha de Análisis: Octubre 12, 13, 14 y 19.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0592	Entrada sedimentador de mancha
W0593	Salida sedimentador de mancha
W0594	Salida tanques de aireación
W0595	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0596	Salida FAFA 1
W0597	Salida FAFA 2
W0598	Salida filtro percolador
W0599	Salida sedimentadores, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
pH	SM 4500-H B	U ^o C
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 172



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.901.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS -MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
W0592	1502	2648	1360	4.82	622	1.58
W0593	2022	3071	197	4.27	667	0.41
W0594	2784	4207	407	4.07	892	0.37
W0595	2598	4134	300	4.23	875	0.34
W0596	2586	4092	290	4.42	885	0.35
W0597	2676	4048	315	4.41	872	0.32
W0598	1648	2794	355	4.22	583	0.30
W0599	1896	3270	480	4.13	680	0.28

DIEGO ZULLAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Nogue: Duermas Fax: 8203232 Fax 092-8203251 www.crc.gov.co
Línea verde 018000352855
Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)6245602

Figura 21. Reporte 15 de noviembre.

Reporte N° 184



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Noviembre 29 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Noviembre 15 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Noviembre 16, 17 y 22.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0638	Entrada sedimentador de mancha
W0639	Salida sedimentador de mancha
W0640	Salida tanques de aireación
W0641	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0642	Salida FAFA 1
W0643	Salida FAFA 2
W0644	Salida filtro percolador
W0645	Salida sedimentadores, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm.
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 184



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-4


LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST	Conductividad
W0638	1860	2851	280	935
W0639	1357	2229	137	715
W0640	1725	2493	216	956
W0641	1548	2830	172	828
W0642	1675	2931	132	899
W0643	1734	2700	156	872
W0644	1443	2532	204	901
W0645	1449	2380	204	924


DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Nigret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 052-8203251 www.crc.gov.co
Línea verde: 01800032325
Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 22. Reporte 17 de noviembre.

Reporte N° 188



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/09
Pág. 1 de 2

Fecha: Noviembre 29 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Noviembre 17 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Noviembre 17, 18 y 22.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0665	Entrada sedimentador de mancha
W0666	Salida sedimentador de mancha
W0667	Salida tanques de aireación
W0668	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0669	Salida sedimentador, filtro percolador
W0670	Salida filtro percolador
W0671	Salida FAFA 1
W0672	Salida FAFA 2

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
pH	SM 4500-H B	UPC
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 188



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/09
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto
W0665	230	538	112	6.09	30.6	4.89
W0666	1320	2500	132	4.02	782	1.50
W0667	1498	2757	212	4.24	828	0.42
W0668	1584	2630	175	4.55	832	0.49
W0669	1482	2637	150	4.42	918	0.31
W0670	1344	2179	180	4.43	860	0.37
W0671	1754	2896	150	4.30	863	1.83
W0672	1776	3284	135	4.17	868	0.73

DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 092-8203251 www.crc.gov.co
Línea verde 018000522055
Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 23. Reporte 22 de noviembre.

Reporte N° 193



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág: 1 de 2

Fecha: Noviembre 29 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental		Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28		Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías		Fecha de Análisis: Noviembre 23, 24 y 29.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0686	Entrada sedimentador de mancha
W0687	Salida sedimentador de mancha
W0688	Salida tanques de aireación
W0689	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0690	Salida FAFA 1
W0691	Salida FAFA 2
W0692	Salida filtro percolador
W0693	Salida sedimentador, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
pH	SM 4500-H B	UPC
Conductividad	SM 2510 B	µS/cm.
DBO ₂	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 193



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág: 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST	pH	Conductividad
W0686	2190	2934	100	3.23	849
W0687	1386	2232	140	3.05	552
W0688	1770	2743	175	3.84	736
W0689	1944	3065	145	4.23	832
W0690	1116	2155	95.0	4.19	446
W0691	984	1791	80.0	4.05	422
W0692	1104	1950	100	3.81	562
W0693	942	1756	120	4.04	501

DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 092-8203251 WWW.CRC.GOV.CO
Línea verde 018000932805
Laboratorio, Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 24. Reporte 24 de noviembre.

Reporte N° 196



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-1

Código: FT-TC-RR047
Version: 01
Fecha: 22/05/05
Pág. 1 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Diciembre 7 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Recepción: Noviembre 25 de 2011.
	Fecha de Análisis: Noviembre 29, 30 y diciembre 6.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0706	Entrada sedimentador de mancha
W0707	Salida sedimentador de mancha
W0708	Salida tanques de aireación
W0709	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0710	Salida FAFA 1
W0711	Salida FAFA 2
W0712	Salida filtro percolador
W0713	Salida sedimentador, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 196



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N.I.T. 891.501.885-1

Código: FT-TC-RR047
Version: 01
Fecha: 22/05/05
Pág. 2 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST
W0706	444	1349	160
W0707	1440	2560	213
W0708	1254	2423	320
W0709	1260	2500	200
W0710	1500	2844	280
W0711	1500	2905	205
W0712	1134	2619	245
W0713	1188	2412	260

DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax: 092-8203251 WWW.CAUCA.GOV.CO
Línea verde 018000932855
Laboratorio: Vivaro La Florida. Telefax: (2)8245602

Figura 25. Reporte 29 de noviembre.

Reporte N° 198



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.035-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/08
Pág. 1 de 2

Fecha: Diciembre 7 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Recepción: Noviembre 29 de 2011.
	Fecha de Análisis: Noviembre 29, 30 y diciembre 6.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0717	Entrada sedimentador de mancha
W0718	Salida sedimentador de mancha
W0719	Salida tanques de aireación
W0720	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0721	Salida FAFA 1
W0722	Salida FAFA 2
W0723	Salida filtro percolador
W0724	Salida sedimentador, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 198



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.035-4


LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/08
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST
W0717	804	1478	156
W0718	750	1811	157
W0719	936	2113	320
W0720	1182	2088	300
W0721	1002	2959	205
W0722	1026	2128	195
W0723	732	1723	265
W0724	642	1937	275


DIEGO ZULUAGA VERA
 Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
 Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Durrías Pbx: 8203232 Fax: 092-8203251 www.crc.gov.co
 Línea verde 018000932855
 Laboratorio: Viviero La Florida Telefax: (2)9245602

Figura 26. Reporte 1 de diciembre.

Reporte N° 200



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Diciembre 7 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental		Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28		
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías		Fecha de Recepción: Diciembre 1 de 2011.
		Fecha de Análisis: Diciembre 1, 2 y 6.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0726	Entrada sedimentador de mancha
W0727	Salida sedimentador de mancha
W0728	Salida tanques de aireación
W0729	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0730	Salida FAFA 1
W0731	Salida FAFA 2
W0732	Salida filtro percolador
W0733	Salida sedimentador, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 200



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4


LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST	Oxígeno disuelto
W0726	2262	3984	160	2.11
W0727	2166	3102	247	1.10
W0728	1188	1699	264	0.20
W0729	978	2376	353	0.17
W0730	1500	3483	200	0.18
W0731	1620	2331	230	0.20
W0732	1962	3063	386	0.27
W0733	1758	2804	390	0.24


DIEGO ZULUAGA VERA
 Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
 Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax: 092-8203251 www.crc.gov.co
 Línea verde 01 8000032805
 Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 27. Reporte 7 de diciembre.

Reporte N° 205



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4


Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Diciembre 20 de 2011			
Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental		Teléfono: 8203232	
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28		Fecha de Recepción: Diciembre 12 de 2011.	
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías		Fecha de Análisis: Diciembre 13, 14 y 19.	

Identificación de la muestra:		Parámetro / método		
Código Muestra	Sitio de Muestreo	Parámetro	Método	Unidad
W0749	Entrada sedimentador de mancha	DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
W0750	Salida sedimentador de mancha	DQO	SM5220D	mg/L
W0751	Salida tanques de aireación	SST	SM2540D	mg/L
W0752	Salida sedimentadores tanques de aireación			
W0753	Salida FAFA 1			
W0754	Salida FAFA 2			
W0755	Salida filtro percolador			
W0756	Salida sedimentador, filtro percolador			

Reporte N° 205




CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C.R.C.
N.I.T. 891.501.885-4

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Resultados Laboratorio


Código Muestra	DBO	DQO	SST
W0749	366	1231	163
W0750	1074	2019	304
W0751	1296	2096	255
W0752	1344	2502	180
W0753	1878	3108	170
W0754	957	3189	420
W0755	774	1699	180
W0756	1218	2074	200


DIEGO ZULUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzuluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 092-8203251 www.crc.gov.co
Línea verde 01-8000932855
Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

Figura 28. Reporte 13 de diciembre.

Reporte N° 206



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N. I. T. 891.501.885-4

LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 1 de 2

Fecha: Diciembre 20 de 2011

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Diciembre 13 de 2011.
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías	Fecha de Análisis: Diciembre 13, 14 y 19.


Identificación de la muestra:

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0757	Entrada sedimentador de mancha
W0758	Salida sedimentador de mancha
W0759	Salida tanques de aireación
W0760	Salida sedimentadores tanques de aireación
W0761	Salida FAFA 1
W0762	Salida FAFA 2
W0763	Salida filtro percolador
W0764	Salida sedimentador, filtro percolador

Parámetro / método

Parámetro	Método	Unidad
Oxígeno disuelto	SM 4500-OG	mg/L
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L
DQO	SM5220D	mg/L
SST	SM2540D	mg/L

Reporte N° 206



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
C. R. C.
N. I. T. 891.501.885-4


LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS –MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-TC-RR047
Versión: 01
Fecha: 22/05/06
Pág. 2 de 2

Resultados Laboratorio

Código Muestra	DBO	DQO	SST	Oxígeno Disuelto mg/l
W0757	2028	3503	133	0.12
W0758	1938	2935	176	0.95
W0759	2016	3388	335	0.39
W0760	2196	3021	185	0.25
W0761	2358	3321	155	0.06
W0762	2106	3258	150	0.03
W0763	1542	2853	293	0.02
W0764	1242	2644	260	0.02


DIEGO ZULLUAGA VERA
Laboratorio Ambiental CRC
dzulluaga@crc.gov.co

Corporación Autónoma Regional del Cauca
Carrera 7 # 1N-28 Edificio Edgar Negret Dueñas Pbx: 8203232 Fax 092 8203251 www.crc.gov.co
Línea verde 018000932856
Laboratorio: Vivero La Florista Telefax: (2)8245602

ANEXO D. Resultados estadísticos.

D.1. Sistema de Aireación.

D.1.1. Resultados de los parámetros in situ.

D.1.1.1. Conductividad eléctrica.

Estadísticas descriptivas: Conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.
Conductividad eléctrica	Afluyente	18	630,3	60,8	258,1
	Efluente	18	611,6	52,4	222,5
	Salida sedimentador	16	645,9	51,2	204,8

Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Conductividad eléctrica	Afluyente	66639,1	36,9	419,3	668,5
	Efluente	49513,0	0,1	482,0	646,5
	Salida sedimentador	41932,9	366,0	440,0	642,0

Variable	Ubicación	Q3	Máximo
Conductividad eléctrica	Afluyente	799,8	1118,0
	Efluente	759,0	956,0
	Salida sedimentador	832,0	975,0

IC y Prueba T pareada: Afluyente. Efluente

T pareada para Afluyente - Efluente				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	18	630,3	258,1	60,8
Efluente	18	611,6	222,5	52,4
Diferencia	18	18,7	252,8	59,6

IC de 95% para la diferencia media:: (-107,0. 144,4)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,31 Valor P = 0,757

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidasedimentador				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	16	681,8	213,8	53,5
Salida sedimentador	16	645,9	204,8	51,2
Diferencia	16	35,8	351,4	87,8

IC de 95% para la diferencia media:: (-151,4. 223,0) Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,41 Valor P = 0,689

D.1.1.2. Oxígeno disuelto.

Estadísticas descriptivas: Oxígeno disuelto (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluente	26	1,550	0,107	0,545
	Efluente	26	0,6638	0,0716	0,3650
	Salida sedimentador	22	0,4618	0,0825	0,3869
Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluente	0,297	0,800	1,185	1,485
	Efluente	0,1332	0,0800	0,3850	0,5900
	Salida sedimentador	0,1497	0,0000	0,1675	0,3950
Variable	Ubicación	Q3	Máximo		
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluente	1,850	2,930		
	Efluente	0,8350	1,5600		
	Salida sedimentador	0,6675	1,4400		

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente

T pareada para Afluente - Efluente				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	26	1,550	0,545	0,107
Efluente	26	0,664	0,365	0,072
Diferencia	26	0,8862	0,3681	0,0722

IC de 95% para la diferencia media:: (0,7375. 1,0348)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 12,28 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Afluente - Salida sedimentador

T pareada para Afluente - Salidasedimentador				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	22	1,646	0,529	0,113
Salida sedimentador	22	0,462	0,387	0,082
Diferencia	22	1,1841	0,3585	0,0764

IC de 95% para la diferencia media:: (1,0251. 1,3431)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 15,49 Valor P = 0,000

D.1.1.3. pH.

Estadísticas descriptivas: pH

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
pH	Afluente	37	4,208	0,118	0,716	0,513
	Efluente aireación	37	4,2914	0,0847	0,5151	0,2654
	Salida sedimentador	33	4,5176	0,0764	0,4386	0,1924

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
pH	Afluente	2,690	3,790	3,930	4,605	6,220
	Efluente aireación	3,7100	3,9000	4,1400	4,4850	5,8000
	Salida sedimentador	3,8700	4,2450	4,5000	4,7450	5,7500

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente aireación

T pareada para Afluente - Efluente aireación

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	37	4,208	0,716	0,118
Efluente aireación	37	4,291	0,515	0,085
Diferencia	37	-0,0838	0,3603	0,0592

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,2039. 0,0364)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,41 Valor P = 0,166

IC y Prueba T pareada: Afluente - Salida sedimentador

T pareada para Afluente - Salidasedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	33	4,160	0,741	0,129
Salida sedimentador	33	4,518	0,439	0,076
Diferencia	33	-0,3573	0,4303	0,0749

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,5099. -0,2047)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -4,77 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Efluente aireación. Salida sedimentador

T pareada para Efluente aireación - Salida sedimentador				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Efluente aireación	33	4,2679	0,5385	0,0937
Salida sedimentador	33	4,5176	0,4386	0,0764
Diferencia	33	-0,2497	0,2589	0,0451

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,3415. -0,1579)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -5,54 Valor P = 0,000

D.1.1.4. Temperatura.

Estadísticas descriptivas: Temperatura (°C)

Variable	Ubicación	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Temperatura (°C)	Afluente	39	22,626	1,646	0,264
	Efluente	39	23,456	1,226	0,196
Salida sedimentador	35	23,397	0,172	1,021	

Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Temperatura (°C)	Afluente	2,708	20,300	21,600	22,400
	Efluente	1,503	21,200	22,800	23,300
Salida sedimentador	35	1,041	21,400	22,900	23,100

Variable	Ubicación	Q3	Máximo
Temperatura (°C)	Afluente	23,500	29,100
	Efluente	24,000	28,100
	Salida sedimentador	23,800	26,800

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente

T pareada para Afluente - Efluente				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	39	22,626	1,646	0,264
Efluente	39	23,456	1,226	0,196
Diferencia	39	-0,831	0,862	0,138

IC de 95% para la diferencia media:: (-1,110. -0,552)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -6,02 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidas sedimentador				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	35	22,746	1,672	0,283
Salida sedimentador	35	23,397	1,021	0,172
Diferencia	35	-0,651	0,992	0,168

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,992. -0,311)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -3,88 Valor P = 0,000

D.1.2. Resultados de laboratorio.

D.1.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Estadísticas descriptiva sistema de aireación: DBO (mg/L)

		N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
Variable DBO (mg/L)	Ubicación Afluyente	9	1641	134	403	162211
	Efluente aireación	6	1570	196	481	230884
	Salida sedimentador	6	1470	156	382	145633

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Variable DBO (mg/L)	Afluyente	1074	1339	1440	2043	2166
	Efluente aireación	1188	1238	1392	1910	2466
	Salida sedimentador	978	1190	1446	1715	2108

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente aireación

T pareada para Afluyente - Efluente aireación				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	6	1570	440	180
Efluente aireación	6	1570	481	196
Diferencia	6	1	523	213

IC de 95% para la diferencia media:: (-548. 549)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,00 Valor P = 0,998

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidas sedimentador

Media del

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	6	1570	440	180
Salida sedimentador	6	1470	382	156
Diferencia	6	100	560	228

IC de 95% para la diferencia media:: (-488. 687)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,44 Valor P = 0,681

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Efluente aireación

T de dos muestras para Afluyente vs. Efluente aireación

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Efluente aireación	6	1570	481	196

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Efluente aireación)
Estimado de la diferencia: 71
IC de 95% para la diferencia: (-467. 609)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,30 Valor P = 0,771 GL = 9

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Salida sedimentador

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida sedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Salidas sedimentador	6	1470	382	156

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salidas sedimentador)
Estimado de la diferencia: 170
IC de 95% para la diferencia: (-282. 623)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,83 Valor P = 0,425 GL = 11

D.1.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Estadísticas descriptivas sistema de aireación: DQO (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
DQO (mg/L)	Afluente	8	2728	134	378	142842
	Efluente tanque de airea	8	2494	149	421	177007
	Salida sedimentador	7	2454,9	80,4	212,8	45271,8

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
DQO (mg/L)	Afluente	2229	2337	2748	3094	3142
	Efluente tanque de airea	2096	2122	2458	2711	3352
Salidasedimentador		2088,0	2344,0	2500,0	2630,0	2744,0

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente - Efluente tanque de aireación

T de dos muestras para Afluente vs. Efluente tanque de aireación

	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluente	8	2728	378	134
Efluente tanque de airea	8	2494	421	149

Diferencia = μ (Afluente) - μ (Efluente tanque de aireación)
 Estimado de la diferencia: 233
 IC de 95% para la diferencia: (-199. 665)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,17 Valor P = 0,264 GL = 13

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente - Salida sedimentador

T de dos muestras para Afluente vs. Salida sedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	8	2728	378	134
Salidasedimentador	7	2455	213	80

Diferencia = μ (Afluente) - μ (Salidasedimentador)
 Estimado de la diferencia: 273
 IC de 95% para la diferencia: (-70. 616)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,75 Valor P = 0,108 GL = 11

D.1.2.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Estadísticas descriptivas: SST (mg/L) en el sistema de aireación

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
SST (mg/L)	Afluente	12	196,7	21,0	72,9	5312,4
	Efluente aireación	11	266,1	22,3	73,9	5456,1
	Salida sedimentador	12	218,8	20,1	69,5	4824,9
Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
SST (mg/L)	Afluente	123,0	137,8	177,0	238,5	356,0
	Efluente aireación	165,0	212,0	258,0	320,0	407,0
	Salida sedimentador	145,0	172,8	182,5	295,0	353,0

IC y Prueba T pareada: Afluente - Salida sedimentador

T pareada para Afluente - Salida sedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	12	196,7	72,9	21,0
Salida sedimentador	12	218,8	69,5	20,1
Diferencia	12	-22,1	75,1	21,7

IC de 95% para la diferencia media:: (-69,8. 25,6)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,02 Valor P = 0,33S

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente. Efluente aireación

T de dos muestras para Afluente vs. Efluente aireación

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	12	196,7	72,9	21
Efluente aireación	11	266,1	73,9	22

Diferencia = μ (Afluente) - μ (Efluente aireación)
 Estimado de la diferencia: -69,4
 IC de 95% para la diferencia: (-133,3. -5,5)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -2,27 Valor P = 0,035 GL = 20

Prueba T e IC de dos muestras: Efluente aireación - Salida sedimentador

T de dos muestras para Efluente aireación vs. Salida sedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Efluente aireación	11	266,1	73,9	22
Salida sedimentador	12	218,8	69,5	20

Diferencia = μ (Efluente aireación) - μ (Salida sedimentador)

Estimado de la diferencia: 47,3

IC de 95% para la diferencia: (-15,2. 109,9)

Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,58 Valor P = 0,130 GL = 20

D.2. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFAs).

D.2.1. Resultados de los parámetros in situ.

D.2.1.1. Conductividad eléctrica.

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente FAFA 1

T pareada para Afluente - Efluente FAFA 1

Media del	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluente	18	630,3	258,1	60,8
Efluente FAFA 1	18	693,5	238,5	56,2
Diferencia	18	-63,2	162,6	38,3

IC de 95% para la diferencia media:: (-144,0. 17,6)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,65 Valor P = 0,117

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente FAFA 2

T pareada para Afluente - Efluente FAFA 2

Media del	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluente	18	630,3	258,1	60,8
Efluente FAFA 2	18	681,9	224,1	52,8
Diferencia	18	-51,6	145,4	34,3

IC de 95% para la diferencia media:: (-123,9. 20,7)

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,51 Valor P = 0,151

Estadísticas descriptivas: Conductividad eléctrica (µs/cm)

Media del Error					
Variable	Ubicación	N	Media	estándar	Desv.Est.
Conductividad eléctrica	Afluyente	18	630,3	60,8	258,1
	Efluente FAFA 1	19	658,1	63,9	278,4
	Efluente FAFA 2	19	652,2	58,1	253,4
Variable					
Conductividad eléctrica	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Conductividad eléctrica	Afluyente	66639,1	36,9	419,3	668,5
	Efluente FAFA 1	77533,0	20,7	525,0	746,0
	Efluente FAFA 2	64203,8	117,6	497,0	694,0
Variable					
Conductividad eléctrica	Ubicación	Q3	Máximo		
Conductividad eléctrica	Afluyente	799,8	1118,0		
	Efluente FAFA 1	899,0	953,0		
	Efluente FAFA 2	872,0	962,0		

D.2.1.2. Oxígeno disuelto.

Estadísticas descriptivas: Oxígeno disuelto (mg/L)

Media del Error					
Variable	Ubicación	N	Media	estándar	Desv.Est.
Oxigenodisuelto (mg/L)	Afluyente	25	1,533	0,110	0,549
	Efluente FAFA 1	124	0,5242	0,0818	0,4008
	Efluente FAFA 2	225	0,4948	0,0840	0,4199
Variable					
Oxigenodisuelto (mg/L)	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Oxigenodisuelto (mg/L)	Afluyente	0,302	0,800	1,170	1,470
	Efluente FAFA 1	0,1607	0,0600	0,1500	0,4100
	Efluente FAFA 2	0,1763	0,0200	0,1000	0,4300
Variable					
Oxígeno disuelto (mg/L)	Ubicación	Q3	Máximo		
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluyente	1,775	2,930		
	Efluente FAFA 1	0,7925	1,3800		
	Efluente FAFA 2	0,7950	1,5000		

IC y Prueba T pareada: Afluyente - FAFA 1

T pareada para Afluyente - FAFA 1				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	24	1,590	0,543	0,111
FAFA 1	24	0,524	0,401	0,082
Diferencia	24	1,0662	0,4141	0,0845

IC de 95% para la diferencia media:: (0,8914. 1,2411)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 12,61 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Afluyente - FAFA 2

T pareada para Afluyente - FAFA 2				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	25	1,580	0,534	0,107
FAFA 2	25	0,495	0,420	0,084
Diferencia	25	1,0852	0,4069	0,0814

IC de 95% para la diferencia media:: (0,9173. 1,2531)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 13,34 Valor P = 0,000

Modelo lineal general: OD FAFA 1 vs OD FAFA 2. Fecha de muestreo

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FAFA	fijo	2	FAFA 1. FAFA 2
Fecha de muestreo	fijo	11	Agosto 30. Diciembre 1. Diciembre 13. Diciembre 7. Noviembre 15. Noviembre 17. Noviembre 22. Noviembre 24. Octubre 11. Octubre 4. Septiembre 6

Análisis de varianza para OD FAFA, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FAFA	1	0,01056	0,00154	0,00154	0,03	0,864
Fecha de muestreo	10	6,01741	6,01741	0,60174	11,66	0,000
Error	37	1,90960	1,90960	0,05161		
Total	48	7,93757				

S = 0,227180R-cuad. = 75,94%R-cuad.(ajustado) = 68,79%

Observaciones inusuales de OD FAFA

Obs	OD FAFA	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
9	0,44000	0,93186	0,08665	-0,49186	-2,34 R
23	0,42000	0,96936	0,08665	-0,54936	-2,62 R
34	0,47000	0,92064	0,08665	-0,45064	-2,15 R
45	1,50000	0,95814	0,08665	0,54186	2,58 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95,0%

Variable de respuesta OD FAFA

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = FAFA 1 restado a:

FAFA Inferior	Centrada	Superior	-----+-----+-----+-----	
FAFA 2	-0,1429	-0,01123	0,1205	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----
				-0,080 0,000 0,080

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta OD FAFA

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = FAFA 1 restado a:

	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
FAFA 2	-0,01123	0,06500	-0,1727	0,8638

D.2.1.3. pH.

Estadísticas descriptivas: pH

Variable	Ubicación	N	Media del Error				Mínimo
			Media	estándar	Desv.Est.	Varianza	
pH	Afluente	37	4,208	0,118	0,716	0,513	2,690
	Efluente FAFA 1	37	4,4846	0,0489	0,2972	0,0883	3,9000
	Efluente FAFA 2	37	4,3665	0,0610	0,3711	0,1377	3,7600
Variable	Ubicación	Q1	Mediana	Q3	Máximo		
pH	Afluente	3,790	3,930	4,605	6,220		
	Efluente FAFA 1	4,2250	4,4400	4,6750	5,3100		
	Efluente FAFA 2	4,0500	4,3000	4,6500	5,2600		

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente FAFA 1

T pareada para Afluente - Efluente FAFA 1

Media del Error				
	N	Media	Desv.Est.	estándar
Afluente	37	4,208	0,716	0,118
Efluente FAFA 1	37	4,485	0,297	0,049
Diferencia	37	-0,2770	0,5245	0,0862

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,4519; -0,1022)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -3,21 Valor P = 0,003

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente FAFA 2

T pareada para Afluente - Efluente FAFA 2

Media del Error				
	N	Media	Desv.Est.	estándar
Afluente	37	4,208	0,716	0,118
Efluente FAFA 2	37	4,366	0,371	0,061
Diferencia	37	-0,1589	0,4617	0,0759

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,3129; -0,0050)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -2,09 Valor P = 0,043

Modelo lineal general: pH FAFA 1 vs. pH FAFA 1. Fecha de muestreo

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FAFA	fijo	2	Efluente FAFA 1; Efluente FAFA 2
Fecha de muestreo	fijo	12	Agosto 30; Diciembre 1; Diciembre 13; Diciembre 7; Noviembre 15; Noviembre 17; Noviembre 22; Noviembre 24; Noviembre 29; Octubre 11; Octubre 4; Septiembre 6

Análisis de varianza para pH efluente, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FAFA	1	0,25807	0,25807	0,25807	10,71	0,002
Fecha de muestreo	11	6,66833	6,66833	0,60621	25,17	0,000
Error	61	1,46943	1,46943	0,02409		
Total	73	8,39583				

S = 0,155206R-cuad. = 82,50%R-cuad.(ajustado) = 79,06%

Observaciones inusuales de pH efluente

ObspH efluente	Ajuste	Ajuste SE	Residuo estándar	Residuo	
8	5,31000	4,93530	0,05776	0,37470	2,60 R
11	4,64000	4,93530	0,05776	-0,29530	-2,05 R
45	5,26000	4,81720	0,05776	0,44280	3,07 R
49	5,14000	4,82345	0,05776	0,31655	2,20 R
58	4,37000	4,02845	0,07967	0,34155	2,56 R
71	3,76000	4,10095	0,05776	-0,34095	-2,37 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95,0%

Variable de respuesta pH efluente

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = Efluente FAFA 1 restado a:

FAFA	Inferior	Centrada	Superior
Efluente FAFA 2	-0,1903	-0,1181	-0,04595

FAFA	Inferior	Centrada	Superior
Efluente FAFA 2	-0,180	-0,120	-0,060
			0,000

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta pH efluente

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = Efluente FAFA 1 restado a:

FAFA	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T ajustado	Valor P
Efluente FAFA 2	-0,1181	0,03608	-3,273	0,0018

D.2.1.4. Temperatura.

Estadísticas descriptivas: Temperatura (°C)

Variable	Ubicación	N	Media	estándar	Desv.Est.	Varianza
Temperatura (°C)	Afluyente	39	22,626	0,264	1,646	2,708
	Efluente FAFA 1	39	22,577	0,217	1,353	1,832
	Efluente FAFA 2	39	22,513	0,246	1,538	2,365
Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Temperatura (°C)	Afluyente	20,300	21,600	22,400	23,500	29,100
	Efluente FAFA 1	21,200	21,600	22,100	23,000	26,100
	Efluente FAFA 2	20,900	21,600	22,100	22,900	28,600

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente FAFA 1

T pareada para Afluyente - Efluente FAFA 1				
Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	39	22,626	1,646	0,264
Efluente FAFA 1	39	22,577	1,353	0,217
Diferencia	39	0,049	0,905	0,145

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,245. 0,342)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,34 Valor P = 0,738

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente FAFA 2

T pareada para Afluyente - Efluente FAFA 2				
Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	39	22,626	1,646	0,264
Efluente FAFA 2	39	22,513	1,538	0,246
Diferencia	39	0,113	0,863	0,138

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,167. 0,392)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 0,82 Valor P = 0,419

Modelo lineal general: T° FAFA 1 vs. T° FAFA 2. Fecha de muestreo

Factor	Tipo	Niveles	Valores
FAFA	fijo	2	Efluente FAFA 1. Efluente FAFA 2
Fecha de muestreo	fijo	12	Agosto 30. Diciembre 1. Diciembre 13. Diciembre 7. Noviembre 15. Noviembre 17. Noviembre 22. Noviembre 24. Noviembre 29. Octubre 11. Octubre 4. Septiembre 6

Análisis de varianza para Temperatura efluente (°C), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
FAFA	1	0,0801	0,0801	0,0801	0,11	0,746
Fecha de muestreo	11	110,0809	110,0809	10,0074	13,17	0,000
Error	65	49,3920	49,3920	0,7599		
Total	77	159,5529				

S = 0,871709R-cuad. = 69,04%R-cuad.(ajustado) = 63,33%

Observaciones inusuales de Temperatura efluente (°C)

	Temperatura efluente (°C)	Ajuste	Ajuste SE	Residuo estándar	Residuo
1	23,2000	23,0821	0,6242	0,1179	0,19 X
5	25,0000	22,2946	0,3236	2,7054	3,34 R
8	22,9000	25,6696	0,3236	-2,7696	-3,42 R
20	25,4000	23,4321	0,3693	1,9679	2,49 R
40	22,9000	23,0179	0,6242	-0,1179	-0,19 X
47	23,2000	25,6054	0,3236	-2,4054	-2,97 R
49	28,6000	25,6054	0,3236	2,9946	3,70 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

X denota una observación cuyo valor X le concede gran influencia.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95,0%

Variable de respuesta Temperatura efluente (°C)

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = Efluente FAFA 1 restado a:

FAFA	Inferior	Centrada	Superior
Efluente FAFA 2	-0,4583	-0,06410	0,3301

FAFA	Inferior	Centrada	Superior
Efluente FAFA 2	-0,25	0,00	0,25

Pruebas simultáneas de Tukey

Variable de respuesta Temperatura efluente (°C)

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA

FAFA = Efluente FAFA 1 restado a:

FAFA	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
Efluente FAFA 2	-0,06410	0,1974	-0,3247	0,7464

D.2.2. Resultados del laboratorio.

D.2.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Estadísticas descriptivas: DBO (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo
DBO (mg/L)	Afluyente	9	1641	134	403	162211	1074
	Efluente FAFA 1	7	1353,9	80,3	212,5	45159,5	1002,0
	Efluente FAFA 2	9	1354	122	365	133508	957

Variable	Ubicación	Q1	Mediana	Q3	Máximo
DBO (mg/L)	Afluyente	1339	1440	2043	2166
	Efluente FAFA 1	1116,0	1482,0	1500,0	1531,0
	Efluente FAFA 2	1005	1344	1560	2106

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Salida FAFA 1

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida FAFA 1

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Salida FAFA 1	7	1354	213	80

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salida FAFA 1)
Estimado de la diferencia: 287
IC de 95% para la diferencia: (-54. 628)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,83 Valor P = 0,092 GL = 12

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Salida FAFA 2

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida FAFA 2

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Salida FAFA 2	9	1354	365	122

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salida FAFA 2)
Estimado de la diferencia: 286
IC de 95% para la diferencia: (-100. 673)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,58 Valor P = 0,135 GL = 15

Modelo lineal general: DBO₅ FAFA 1 vs. DBO₅ FAFA 2. Fecha de muestreo.

Factor	Tipo	Niveles	Valores			
Fecha de muestreo	fijo	9	Agosto 30. Diciembre 1. Diciembre 13. Diciembre 7. Noviembre 17. Noviembre 22. Noviembre 24. Noviembre 29. Septiembre 6			
FAFA	fijo	2	FAFA 1. FAFA 2			

Análisis de varianza para DBO5 (mg/L), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Fecha de muestreo	8	1299453	1308252	163532	31,89	0,000
FAFA	1	8800	8800	8800	1,72	0,238
Error	6	30768	30768	5128		
Total		151339022				

S = 71,6106R-cuad. = 97,70%R-cuad. (ajustado) = 94,26%

Observaciones inusuales de DBO5 (mg/L)

Obs	DBO5 (mg/L)	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
15	957,00	957,00	71,61	-0,00	* X
16	2106,00	2106,00	71,61	0,00	* X

X denota una observación cuyo valor X le concede gran influencia.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95,0%
Variable de respuesta DBO5 (mg/L)
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA
FAFA = FAFA 1 restado a:

FAFA	Inferior	Centrada	Superior	Residuo
FAFA 2	-143,8	-50,14	43,52	(-----*-----)

-120 -60 0 60

Pruebas simultáneas de Tukey
Variable de respuesta DBO5 (mg/L)
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA
FAFA = FAFA 1 restado a:

FAFA	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
FAFA 2	-50,14	38,28	-1,310	0,2381

D.2.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Estadísticas descriptivas: DQO (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza	Mínimo
DQO (mg/L)	Afluente	8	2728	134	378	142842	2229
	Efluente FAFA 1	7	2679	151	398	158778	2155
	Efluente FAFA 2	8	2387	165	468	219011	1791
Variable	Ubicación	Q1	Mediana	Q3	Máximo		
DQO (mg/L)	Afluente	2337	2748	3094	3142		
	Efluente FAFA 1	12333	2637	2969	3321		
	Efluente FAFA 2	22141	2252	2762	3258		

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente - Efluente FAFA 1

T de dos muestras para Afluente vs. Efluente FAFA 1				
Variable	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	8	2728	378	134
Efluente FAFA 1	7	2679	398	151
Diferencia = μ (Afluente) - μ (Efluente FAFA 1)				
Estimado de la diferencia: 48				
IC de 95% para la diferencia: (-390. 487)				
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,24 Valor P = 0,815 GL = 12				

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente - Efluente FAFA 2

T de dos muestras para Afluente vs. Efluente FAFA 2				
Variable	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	8	2728	378	134
Efluente FAFA 2	8	2387	468	165
Diferencia = μ (Afluente) - μ (Efluente FAFA 2)				
Estimado de la diferencia: 341				
IC de 95% para la diferencia: (-119. 800)				
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,60 Valor P = 0,133 GL = 13				

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente FAFA 1

T pareada para SST AFL - SST FAFA 1				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
SST AFL	9	202,0	82,0	27,3
SST FAFA 1	9	155,2	56,2	18,7
Diferencia	9	46,8	53,9	18,0

IC de 95% para la diferencia media:: (5,3. 88,2)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 2,60 Valor P = 0,032

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente FAFA 2

T pareada para AFL SST - SST FAFA 2				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
AFL SST	9	191,9	72,9	24,3
SST FAFA 2	9	169,1	60,8	20,3
Diferencia	9	22,8	39,2	13,1

IC de 95% para la diferencia media:: (-7,3. 52,9)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 1,74 Valor P = 0,11

Modelo lineal general: SST FAFA 1 vs. SST FAFA2. Fecha de muestreo.

Factor	Tipo	Niveles	Valores			
Fecha de muestreo	fijo	10	Agosto 30. Diciembre 1. Diciembre 13. Diciembre 7. Noviembre 15. Noviembre 22. Noviembre 24. Noviembre 29. Octubre 4. Septiembre 6			
FAFA	fijo	2	Efluente FAFA No 1. Efluente FAFA No 2			

Análisis de varianza para SST FAFA (mg/L), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Fecha de muestreo	9	54101,5	53739,7	5971,1	36,01	0,000
FAFA	1	506,3	506,3	506,3	3,05	0,124
Error	7	1160,7	1160,7	165,8		
Total		1755768,5				

S = 12,8772R-cuad. = 97,92%R-cuad. (ajustado) = 94,95%

Observaciones inusuales de SST FAFA (mg/L)

Obs	SST FAFA (mg/L)	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
8	170,000	170,000	12,877	0,000	* X
15	205,000	205,000	12,877	0,000	* X

X denota una observación cuyo valor X le concede gran influencia.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95,0%
Variable de respuesta SST FAFA (mg/L)
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA
FAFA = Efluente FAFA No 1 restado a:

FAFA	Inferior	Centrada	Superior
Efluente FAFA No 2	2-3,975	11,25	26,47

FAFA
Efluente FAFA No 2

Pruebas simultáneas de Tukey
Variable de respuesta SST FAFA (mg/L)
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de FAFA
FAFA = Efluente FAFA No 1 restado a:

FAFA	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
Efluente FAFA No 2	11,25	6,439	1,747	0,1241

D.3. FiltroPercolador.

D.3.1. Resultados de losparámetros in situ.

D.3.1.1. Conductividad eléctrica.

Estadísticas descriptivas: Conductividad eléctrica (µs/cm)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.
Conductividad eléctrica	Afluente	18	630,3	60,8	258,1
	Efluente	19	672,0	68,7	299,6
	Salida sedimentador	20	689,3	48,7	217,7

Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Conductividad eléctrica	Afluente	66639,1	36,9	419,3	668,5
	Efluente	89777,5	17,1	380,0	674,0
	Salida sedimentador	47403,3	389,0	492,0	694,5

Variable	Ubicación	Q3	Máximo
Conductividad eléctrica	Afluente	799,8	1118,0
	Efluente	901,0	1110,0
	Salida sedimentador	865,5	1087,0

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente

T pareada para Afluente - Efluente

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	18	630,3	258,1	60,8
Efluente	18	671,8	308,3	72,7
Diferencia	18	-41,5	106,4	25,1

IC de 95% para la diferencia media:: (-94,4. 11,4)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,66 Valor P = 0,116

IC y Prueba T pareada: Afluente - Salida sedimentador

T pareada para Afluente - Salidasedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	17	665,2	217,9	52,9
Salida sedimentador	17	707,2	228,4	55,4
Diferencia	17	-42,0	147,1	35,7

IC de 95% para la diferencia media:: (-117,6. 33,6)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -1,18 Valor P = 0,256

D.3.1.2. Oxígeno disuelto.

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente

T pareada para Afluyente - Efluente				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	26	1,550	0,545	0,107
Efluente	26	3,433	1,376	0,270
Diferencia	26	-1,883	1,382	0,271

IC de 95% para la diferencia media:: (-2,442. -1,325)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -6,95 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Afluyente -Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidasedimentador				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	26	1,550	0,545	0,107
Salida sedimentador	26	0,764	1,118	0,219
Diferencia	26	0,786	1,090	0,214

IC de 95% para la diferencia media:: (0,346. 1,226)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 3,68 Valor P = 0,001

Estadísticas descriptivas: Oxígeno disuelto (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluyente	26	1,550	0,107	0,545
	Efluente	27	3,407	0,261	1,357
	Salida sedimentador	27	0,747	0,212	1,100

Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluyente	0,297	0,800	1,185	1,485
	Efluente	1,840	0,020	3,030	3,610
	Salida sedimentador	1,211	0,000	0,260	0,450

Variable	Ubicación	Q3	Máximo
Oxígeno disuelto (mg/L)	Afluyente	1,850	2,930
	Efluente	4,220	6,770
	Salida sedimentador	0,860	5,800

D.3.1.3. pH.

Estadísticas descriptivas: pH Filtro percolador

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
pH	Afluyente	37	4,208	0,118	0,716	0,513
	Efluente filtro percolad	38	4,4461	0,0919	0,5666	0,3210
	Salida sedimentador	38	4,4634	0,0795	0,4901	0,2402

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
pH	Afluyente	2,690	3,790	3,930	4,605	6,220
	Efluente filtro percolad	2,5300	4,1525	4,4250	4,7775	6,0400
	Salidasedimentador	3,15004,1625	4,4050	4,7325	5,8600	

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Efluente filtro percolador

T pareada para Afluyente - Efluente filtro percolador

Error	Media del
N	Media
Desv.Est.	estándar
Afluyente	37 4,208 0,716 0,118
Efluente filtro percolad	37 4,449 0,574 0,094
Diferencia	37 -0,2416 0,3220 0,0529

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,3490. -0,1342)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -4,56 Valor P = 0,000

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidasedimentador

Media del	Error
N	Media
Desv.Est.	estándar
Afluyente	37 4,208 0,716 0,118
Salida sedimentador	37 4,473 0,493 0,081
Diferencia	37 -0,2651 0,4808 0,0790

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,4254. -0,1048)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -3,35 Valor P = 0,002

IC y Prueba T pareada: Efluente filtro percolador - Salida sedimentador

T pareada para Efluente filtro percolador - Salida sedimentador

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Efluente filtro percolad	38	4,4461	0,5666	0,0919
Salida sedimentador	38	4,4634	0,4901	0,0795
Diferencia	38	-0,0174	0,3956	0,0642

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,1474. 0,1127)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -0,27 Valor P = 0,788

D.3.1.2. Temperatura.

Estadísticas descriptivas: Temperatura (°C)

Variable	Ubicación	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Temperatura (°C)	Afluente	39	22,626	1,646	0,264
	Efluente	40	21,486	4,337	0,686
Salidas sedimentador	40 22,012	0,183	1,154		

Variable	Ubicación	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Temperatura (°C)	Afluente	2,708	20,300	21,600	22,400
	Efluente	18,8123	23,850	21,300	22,100
Salidas sedimentador	1,33220	220,600	21,300	21,700	

Variable	Ubicación	Q3	Máximo
Temperatura (°C)	Afluente	23,500	29,100
	Efluente	23,400	27,400
	Salida sedimentador	22,700	27,100

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente

T pareada para Afluente - Efluente

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente	39	22,626	1,646	0,264
Efluente	39	21,465	4,392	0,703
Diferencia	39	1,161	4,144	0,664

IC de 95% para la diferencia media:: (-0,183. 2,504)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 1,75 Valor P = 0,088

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida sedimentador

T pareada para Afluyente - Salidasedimentador				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	39	22,626	1,646	0,264
Salida sedimentador	39	22,005	1,168	0,187
Diferencia	39	0,621	1,022	0,164

IC de 95% para la diferencia media:: (0,289. 0,952)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 3,79 Valor P = 0,001

D.3.2. Resultados de laboratorio.

D.3.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Estadísticas descriptivas Filtro percolador: DBO (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
DBO (mg/L)	Afluyente	9	1641	134	403	162211
	Efluente filtro percolad	8	1421	139	393	154064
	Salida sedimentador	6	1413	148	362	131063

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
DBO (mg/L)	Afluyente	1074	1339	1440	2043	2166
	Efluente filtro percolad	774	1112	1493	1735	1962
	Salidasedimentador	942	1127	1346	1793	1896

IC y Prueba T pareada: Afluyente - Salida Filtro Percolador

T pareada para Afluyente - Salida FP				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	8	1681	411	145
Salida FP	8	1421	393	139
Diferencia	8	259,4	151,2	53,5

IC de 95% para la diferencia media:: (133,0. 385,8)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 4,85 Valor P = 0,002

IC y Prueba T pareada: Afluyente. SalidaSedimentador

T pareada para Afluyente - Salidasedimentador				
Media del				
	N	Media	Desv.Est.	Error estándar
Afluyente	6	1718	363	148
Salida dimentador	6	1413	362	148
Diferencia	6	306	274	112

IC de 95% para la diferencia media:: (18. 593)
Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = 2,73 Valor P = 0,041

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Salida Filtro Percolador

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida FP				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Salida FP	8	1421	393	139

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salida FP)
Estimado de la diferencia: 219
IC de 95% para la diferencia: (-195. 633)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,14 Valor P = 0,275 GL = 14

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente – Salida Sedimentador

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida sedimentador				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	9	1641	403	134
Salidadimentador6	6	1413	362	148

Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salidasedimentador)
Estimado de la diferencia: 228
IC de 95% para la diferencia: (-211. 668)
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,14 Valor P = 0,277 GL = 11

**D.3. 2. 2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).
Estadísticas descriptivas: DQO (mg/L)**

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
DQO (mg/L)	Afluyente	8	2728	134	378	142842
	Efluente Filtro percolad	8	2694	121	342	117122
	Salida sedimentador	7	2472	173	456	208305
Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
DQO (mg/L)	Afluyente	2229	2337	2748	3094	3142
Efluente Filtro percolad	1950	2554	2819	2885	3063	
Salidasedimentador	17562074	2412	2844	3036		

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Efluente Filtro Percolador

T de dos muestras para Afluyente vs. Efluente FP				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	8	2728	378	134
Efluente FP8	8	2694	342	121
Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Efluente FP)				
Estimado de la diferencia: 34				
IC de 95% para la diferencia: (-356. 423)				
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,19 Valor P = 0,854 GL = 13				

Prueba T e IC de dos muestras: Afluyente - Salida sedimentador

T de dos muestras para Afluyente vs. Salida sedimentador				
	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluyente	8	2728	378	134
Salidasedimentador7	7	2472	456	173
Diferencia = μ (Afluyente) - μ (Salidasedimentador)				
Estimado de la diferencia: 255				
IC de 95% para la diferencia: (-225. 736)				
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,17 Valor P = 0,267 GL = 11				

D.3. 2. 3. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Estadísticas descriptivas filtro percolador: SST (mg/L)

Variable	Ubicación	N	Media	Media del Error estándar	Desv.Est.	Varianza
SST (mg/L)	Afluente	12	196,7	21,0	72,9	5312,4
	Efluente Filtro Percolad	12	264,8	34,4	119,2	14212,6
	Salida sedimentador	7	200,3	21,8	57,6	3321,6

Variable	Ubicación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
SST (mg/L)	Afluente	123,0	137,8	177,0	238,5	356,0
Efluente Filtro Percolad		100,0	185,0	251,0	339,5	542,0
Salidasedimentador		120,0	135,0	204,0	260,0	275,0

IC y Prueba T pareada: Afluente - Efluente Filtro Percolador

T pareada para Afluente SS - Efluente SS FP

Variable	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente SS	12	196,7	72,9	21,0
Efluente SS FP	12	264,8	119,2	34,4
Diferencia	12	-68,1	90,4	26,1

IC de 95% para la diferencia media:: (-125,5. -10,7)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -2,61 Valor P = 0,024

Prueba T e IC de dos muestras: Afluente - Salida Filtro Percolador

T de dos muestras para Afluente SS vs. Salida

Variable	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Afluente SS	12	196,7	72,9	21
Salida	7	200,3	57,6	22

Diferencia = μ (Afluente SS) - μ (Salida)
 Estimado de la diferencia: -3,6
 IC de 95% para la diferencia: (-68,2. 60,9)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -0,12 Valor P = 0,906 GL = 15

Prueba T e IC de dos muestras: Efluente - Salida Filtro Percolador

T de dos muestras para Efluente SS FP vs. Salida				
				Media del Error estándar
	N	Media	Desv.Est.	
Efluente SS FP	12	265	119	34
Salida	7	200,3	57,6	22

Diferencia = μ (Efluente SS FP) - μ (Salida)
 Estimado de la diferencia: 64,5
 IC de 95% para la diferencia: (-21,9. 150,8)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 1,58 Valor P = 0,133 GL = 16

IC y Prueba T pareada: Efluente - Salida Filtro Percolador

T pareada para Efluente SS FP - Salida				
				Media del Error estándar
	N	Media	Desv.Est.	
Efluente SS FP	7	198,9	65,6	24,8
Salida	7	200,3	57,6	21,8
Diferencia	7	-1,43	19,42	7,34SST

IC de 95% para la diferencia media:: (-19,39. 16,54)
 Prueba t de diferencia media = 0 (vs. no = 0): Valor T = -0,19 Valor P = 0,852

ANEXO E. Registro fotográfico.

E.1. Sedimentador de mancha

Foto 1. Entrada al sedimentador de mancha.



Foto 2. Resuspensión de mancha en la entrada al sedimentador.



E.2. Tanque de dosificación de alcalinizante.

Foto 3. Flotador de cabeza fija para la dosificación de cal



Foto 4. Dosificación de cal.



Foto 5. Tanque de dosificación de cal a la salida del sedimentador.



E.3. Sistema de aireación.

Foto 6. Sistema de aireación.



Foto 7. Tanques de aireación.



Foto 8. Tanques de sedimentación.



E.4. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs).

Foto 9. Filtros anaerobios.



Foto 10. FAFA 1.



Foto 11. FAFA 2.



E.5. Filtro percolador.

Foto 12. Filtro percolador.



Foto 13. Taponamiento de orificios del brazo distribuidor en el filtro percolador.



Foto 14. Brazo distribuidor del filtro percolador.



Foto 15. Material de soporte en el filtro percolador.



E.6. Caseta de equipos y almacenamiento de materiales.

Foto16. Interruptores de sistema de aireación y filtro percolador.



Foto 17. Caseta de equipos y almacenamiento.



Foto 18. Equipo de bombeo del filtro percolador.



Foto 19. Compresor de los tanques de aireación.



E.7. Almacenamiento de mancha extraída del mantenimiento del sedimentador.

Foto20. Secado artesanal de la mancha extraída del sedimentador primario.



ANEXO F. Fórmulas de cálculo.

- Caudal: $Q = \frac{V}{t}$

Donde:

Q: Caudal (L/s)

V: Volumen (L)

T: Tiempo (s)

- % Eficiencia de remoción = $\frac{\text{Concentracion de entrada} - \text{Concentracion de salida}}{\text{Concentracion de entrada}} \times 100\%$