



Implementación de protocolos de Operación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas del Municipio de Timaná en el Departamento del Huila.

Blanca Eulindany Ruiz Parra

Universidad de Manizales

Maestría en Desarrollo Sostenible y medio ambiente

Manizales, Colombia

2013

Implementación de protocolos de Operación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas del Municipio de Timaná en el Departamento del Huila.

Blanca Eulindany Ruiz Parra
Ingeniera Sanitaria

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Jhon Fredy Betancur, PhD

Asesor:

Juan Carlos Carmona Hernández, MSc

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2013

Acta de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

Agradezco al equipo de docentes y Directivos de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales, Cohorte IV. Especialmente a los Tutores Luis Alberto Vargas y Claudia Munevar, por su apoyo durante el desarrollo de la Maestría; al Doctor Jhon Fredy Betancur Director de línea Biosistemas Integrados y a mi Asesor de Tesis el Doctor Juan Carlos Carmona por su acompañamiento, dirección y palabras de ánimo para lograr la meta propuesta.

A la compañera de Maestría Kely Lorena Ortiz, porque hicimos un buen equipo de trabajo en el desarrollo de nuestras labores académicas.

Igualmente resalto la valiosa colaboración de mi madre, quien siempre ha sido un pilar importante en el logro de mis objetivos.

Resumen

El trabajo permitió mejorar paulatinamente la eficiencia de remoción de carga contaminante en el efluente de la Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de Timana-Huila, mediante la implementación de protocolos de operación, en donde se evaluó el impacto que cada actividad operativa tenía sobre la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los Solidos suspendidos totales, logrando pasar de remociones de 40% a 78.57% en DBO_5 y de 9.57% a 75% en SST.

Palabras claves: Demanda bioquímica de oxígeno, Solidos suspendidos totales, carga contaminante.

Abstract

The work allowed gradually improve the removal efficiency of pollutant load in the effluent treatment plant for domestic wastewater Timana-Huila, by implementing operating protocols, where the impact each had operational activity was assessed on the removal of Biochemical Oxygen Demand and Total Suspended solids, achieving removals moving from 40% to 78.57% in BOD5 and 9.57% to 75% in SST.

Keywords: Biochemical oxygen demand, total suspended solids, pollution load

Contenido

	Pág.
Resumen.....	V
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	XI
Introduccion.....	XII
1. El problema y su contexto.....	18
1.1 Contexto de la investigación.....	13
1.1.1 Contexto Regional.....	19
1.1.2 Contexto Nacional.....	21
1.1.3 Contexto Internacional.....	22
1.2 Descripción del área problema.....	27
1.3 Pregunta de Investigación.....	28
1.4 Objetivos.....	29
1.4.1 Objetivo general.....	29
1.4.2 Objetivos específicos.....	24
1.5 Justificación.....	30
2. Marco Teorico.....	26
2.1 Generalidades de las aguas residuales.....	26
2.2 Normatividad.....	30
3. Metodologia Empleada.....	31
3.1 Diseño de tecnicas de recoleccion de informacion.....	31
3.2 Poblacion y muestra.....	31
3.3 Tecnicas de analisis.....	33
3.3.1 Caracterizacion de aguas residuales.....	33
3.4 Guia de trabajo de campo.....	34

4. Resultados.....	36
4.1 Operacion de la PTAR de Timana.....	36
4.1.1 Protocolo 1: Pretratamiento.....	38
4.1.2 Protocolo 2: Tratamiento primario.....	47
4.1.3 Protocolo 3: Tratamiento secundario.....	49
4.1.4 Protocolo 4: Manejo de lodos.....	50
4.1.5 Analisis de laboratorio.....	51
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	52
5.1 Conclusiones.....	52
5.2 Recomendaciones.....	55
Anexos.....	57
A. Anexo: Descripcion d ela PTAR de Timana.....	57
B. Anexo: Glosario y siglas.....	59
Bibliografia.....	66

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Eficiencias de las PTAR del Huila.....	15
Figura 1-2: Funcionamiento PTARs El Salvador.....	18
Figura 1-3: Localizacion municipio de Timana.....	22
Figura 2-1: Variacion tipica d ela DBO y los SST.....	27
Figura 2-2: Composicion del agua residual domestica.....	28
Figura 2-3: Esquema de una PTARD.....	28
Figura 2-4: Transformacion biologica en una PTAR.....	29
Figura 2-5: Remocion de patogenos.....	29
Figura 4-1: Operaciones de limpieza.....	37
Figura 4-2: Equipo de proteccion personal.....	37
Figura 4-3: Canal de entrada.....	38
Figura 4-4: Limpieza canal de entrada.....	39
Figura 4-5: Rejas de cribado y compuertas.....	40
Figura 4-6: limpieza rejas de cribado	41
Figura 4-7: Desarenadores.....	42
Figura 4-8: Compuertas desarenador.....	42
Figura 4-9: Valvulas de purga de desarenadores.....	43
Figura 4-10: Escurrimiento de lodos en desarenadores.....	43
Figura 4-11: Escurrimiento de lodos sacado de desarenadores.....	44
Figura 4-12: Canaleta Parshall.....	44
Figura 4-13: Limpieza Canaleta Parshall.....	46

Figura 4-14: Valvulas de muestreo de lodos.....	48
Figura 4-15: Muestra de lodos.....	49
Figura 4-16: Filtros FAFA.....	49
Figura 4-17: Lechos de secado.....	50

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Municipios del Huila con PTAR.....	14
Tabla 1-2: Puntos criticos PTARs El Salvador.....	19
Tabla 1-3: Contaminacion de Timana sin PTAR.....	23
Tabla 2-1: Contaminantes de las aguas residuales.....	26
Tabla 2-2: Caracteristicas de las aguas residuales.....	30
Tabla 3-1: Informacion sobre servicios publicos de Timana.....	32
Tabla 3-2: Programacion trabajo de campo.....	35
Tabla 4-1: Parametros de control.....	36
Tabla 4-2: Protocolo de operacion area de pretratamiento.....	47
Tabla 4-3: Protocolo de operacion tratamiento primario.....	48
Tabla 4-4: Protocolo de operacion tratamiento secundario.....	49
Tabla 4-5: Protocolo de operacion lechos de secado.....	50
Tabla 4-6: Monitoreos realizados a la PTAR de Timana años 2008-2013.....	51

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues estas aguas configuran un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de ellas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera grandes impactos a la población y la economía de los países (Hrudey,2004).

Con este trabajo se demuestra que la implementación de protocolos de operación adecuados y aplicados de acuerdo a las necesidades de cada sistema de tratamiento contribuyen de manera significativa a lograr un adecuado tratamiento de las aguas residuales.

Las conclusiones y resultados plantean la importancia de una adecuada operación de los sistemas de tratamiento de aguas y las necesidades de optimización, investigación y análisis, para lograr adecuadas eficiencias de remoción de sustancias contaminantes que permitan cumplir la normatividad y evitar la contaminación del recurso hídrico y la afectación a las comunidades.

1.El problema y su contexto.

1.1 Contexto de la Investigación.

Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor.

Si bien hay un número importante de sistemas de tratamiento de aguas residuales implementado o en proceso de ello, la operación y mantenimiento de estos sistemas se convierte en otro de los grandes retos, pues solo el 51% de ellos presenta un funcionamiento bueno o regular. Esta situación se debe en parte al desconocimiento, o a la poca importancia que se le da a la operación y mantenimiento de estos sistemas, pues se cree que el problema se soluciona con la construcción de la infraestructura. (MAVDT, 2010).

1.1.1 Contexto Regional

En la siguiente tabla se muestran las Cargas contaminantes a la entrada y salida de la plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas del Departamento del Huila

Tabla 1-1: Municipios del Departamento del Huila con Planta de tratamiento de aguas residuales

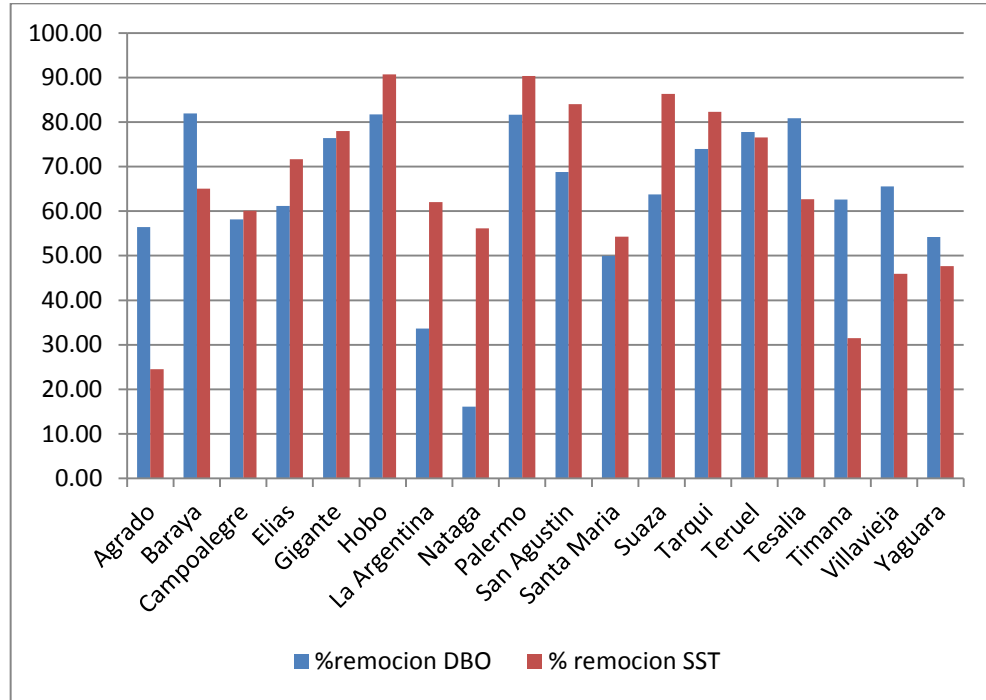
HUILA Municipio	Periodo caracterización	Caudal Tratado Qafl (l/S)	DBO (mg/L) PTAR		SST (mg/L)		%Eficiencia de Remocion del sistema de tto	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	en DBO	en SST
Agrado	2008-2012	14.03	108.5	47.25	68	51.33	56.45	24.51
Baraya	2009-2011	16.37	372.2	67.27	164.23	57.47	81.93	65.01
Campoalegre	2010-2012	31.23	127.37	53.3	105.65	42.2	58.15	60.06
Elias	2010-2012	3.44	211	82	137.5	39	61.14	71.64
Gigante	2009-2012	38.35	236.10	55.79	151.23	33.35	76.37	77.95
Hobo	2010	14.1	208.1	38.1	104.6	9.7	81.69	90.73
La Argentina	2010-2011	14	353.5	234.5	441.5	167.5	33.66	62.06
Nataga	2009-2010	4.88	46.5	39	256.5	112.5	16.13	56.14
Palermo	2011	16.2	268.6	49.3	87.25	8.45	81.65	90.32
San Agustin	2010-2011	5.56	343	107	251.25	40.2	68.80	84
Santa Maria	2011	7.3	180.1	90.1	180.1	82.4	49.97	54.25
Suaza	2012	12.05	185	67	227	31	63.78	86.34
Tarqui	2011-2012	9.05	276.1	71.85	171.7	30.45	73.98	82.27
Teruel	2010	6.59	410.7	91.3	402.1	94.4	77.77	76.52
Tesalia	2011	26.67	224	42.9	134	50	80.85	62.69
Timana	2008-2013	15.44	305.69	114.29	187.50	128.43	62.61	31.50
Villavieja	2010-2013	3.8	223.67	77	107.77	58.23	65.57	45.96
Yaguara	2008-2011	19.51	160	73.33	132.5	69.33	54.17	47.67
PROMEDIO		14.37	235.56	77.85	183.91	61.44	63.59	64.98

Fuente: Recolección de datos en Empresas de servicios públicos y Corporación Autónoma del Huila (2013)

Si observamos los promedios generados a partir de los datos de todos los municipios, podríamos decir, que a pesar de las deficiencias en operación observadas en recorrido que se realizó por todos los municipios reportados, las eficiencias promedio no son las que pide la norma, pero tampoco son tan bajas, indicando que las plantas como tal, son buenas constructivamente, y

que para llegar a remover el 80% de contaminación se requiere mejorar las actividades diarias de operación, pudiendo debatir los comentarios de la comunidad y algunas entidades que dicen que las plantas no sirven.

Figura 1-1: Cargas contaminantes a la entrada y salida de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas del Departamento del Huila



Fuente: Recolección de datos en Empresas de servicios públicos y Corporación Autónoma del Huila (2013).

1.1.2 Contexto Nacional

Los vertimientos de aguas residuales de los centros urbanos se estiman en 67 m³/s donde Bogotá representa el 15%, Antioquia 13%, Valle del Cauca 10% y los demás departamentos están por debajo del 5%. El impacto que generan estos vertimientos varía a lo largo del país, dependiendo del volumen de los vertimientos puntuales frente a la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua donde se vierten (Conpes 3177).

El balance en la producción de aguas residuales municipales en Colombia, indica que la producción diaria de aguas residuales domesticas es de aproximadamente seis (6) millones de m³, de los cuales 20% son conducidas a Plantas de tratamiento de aguas residuales –PTAR-, y solo el 8% es efectivamente tratado. (Collazos, 2008)

1.1.2.1 PTAR Maní- Casanare

Es una planta cuyas unidades de tratamiento son básicamente bombeo, rejillas, desarenadores, reactor UASB. El caudal es de 13.27 l/s, la temperatura promedio del lugar es de 30°C, la remoción es del 75%. Quizá este buen resultado es producto de que los operadores están capacitados, la planta cuenta con su propio laboratorio, funciona bajo la dirección de una ingeniera, el clima es favorable para procesos biológicos del reactor UASB, entre otros factores.

Una actividad importante que se puede replicar en otras plantas es que el biogás generado en el proceso es evacuado al medio mediante chimeneas instaladas a las campanas de cada una de las unidades, estas en su interior contienen viruta de hierro para oxidar el metano producido. (Moreno, 2006).

1.1.2.2 PTAR Funza- Cundinamarca

En terminos generales el sistema de tratamiento consiste en Pretratamiento con rejillas de cribado mecanicas; zanjones de oxidacion (tratamiento biologico) con aireacion extendida y lodos activados; finalizando con sedimentadores.

La remocion de DBO_5 mg/l O_2 = 41.73% y de SST= 23.93% , lo que indica que no remueve el 80% que exige la reglamentacion de vertimientos. (Peña, 2001).

1.1.2.3 PTAR Tebaida- Quindio

Consta de pretratamiento con cribas gruesas y finas, desarenadores; reactor anaerobio UASB; quemador de gases y lechos de secado. Capacidad de 38 l/s. Eficiencia de remocion del 80%.

Se intuye que su buen nivel de remocion radica entre otras, en que cuentan con su propio laboratorio que les permite hacer seguimiento permanente.

1.1.2.4 PTAR El Peñol- Antioquia

Consta de pretratamiento con rejillas de cribado y desarenadores: tratamiento primario con trampa de grasas y sedimentadores. Remueve aproximadamente el 40% de carga contaminante ya que solo tiene tratamiento primario.

1.1.3 Contexto Internacional

A continuación se presentan datos tomados de documento del Ingeniero Carlos Julio Collazos (2008),

Se estima que el 41% de la población mundial (2600 millones de habitantes) no tiene acceso al saneamiento básico.

La meta del milenio, busca reducir a la mitad el número de habitantes sin acceso al saneamiento básico para el año 2015.

En América Latina en el 2004, el 14% de la población urbana (60 millones de personas) y el 51% de la población rural (65 millones de personas) carecían de sistemas de saneamiento.

Disposición urbana de aguas residuales en América Latina (1998):

Disposición in situ 27%

Alcantarillado 63%

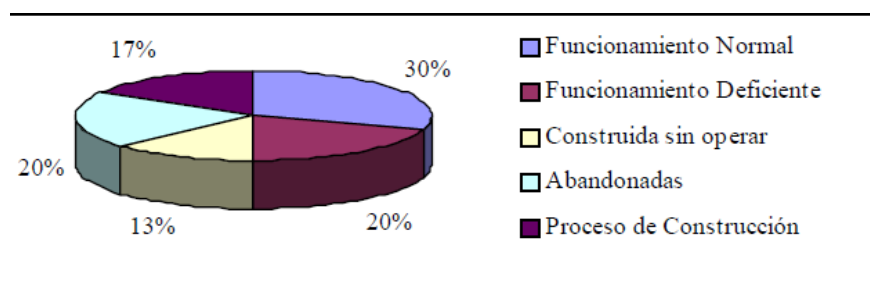
Sin servicio 10%

Agua residual tratada 14% (con tratamiento aceptable 6%)

Sin tratamiento 86% equivalente a 516 m³/s

1.1.3.1 PAIS: El Salvador

Figura 1- 2: Porcentaje de funcionamiento de las Plantas de tratamiento de aguas residuales en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador



Fuente: ANDA (1999).

Se seleccionó una muestra en base a los elementos de tratamiento secundario que las conforman y que posean registros de operación, con estos parámetros se seleccionaron solamente tres plantas; por lo cual se recurrió a plantas fuera del AMSS (Área

Metropolitana de San Salvador) y del sector privado, con lo cual la muestra se elevó a 8 plantas con las siguientes características:

Tanque sedimentador tipo Dortmund y percoladores biológicos: 3 plantas

Tanque sedimentador tipo Imhoff y percoladores biológicos: 1 planta

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y percoladores biológicos: 1 planta

Sistema de Lodos Activados: 1 planta

Lagunas de estabilización: 2 plantas

Tabla 1- 2: Puntos críticos identificados durante investigación PTAR El Salvador

PUNTO CRITICO	OBSERVACIONES
INFRAESTRUCTURA (No se toman en cuenta los de diseño o construcción)	Deterioro de elementos debidos a falta o inadecuada limpieza, falta de elementos de medición de caudal (puntos de control, reglas, etc.), válvulas rotas, omisión o deterioro de acabados (repellos).
OPERATIVOS	Falta o limpieza incompleta de elementos, procedimientos de limpieza inadecuados, no se lleva control de operaciones realizadas (limpiezas, mediciones de caudal, toma de muestras, etc.), no se tiene control de tiempos, períodos o cantidad de lodos extraídos, mala disposición final de desechos.
SEGURIDAD	Falta de elementos de seguridad como barandas en elementos altos o escaleras, cerca perimetral, rótulos preventivos o informativos, falta de recubrimiento antideslizante alrededor de tanques y otros elementos, falta o deterioro de equipo de seguridad, falta de botiquines de primeros auxilios.
NIVEL COGNOSCITIVO	Falta de capacitaciones periódicas, desconocimiento de la importancia del uso del equipo de protección, carencia de listado de actividades a realizar y periodos y procedimientos de realización, falta de registros, desconocimiento de métodos correctos de disposición de residuos.

Fuente: AIDIS (1999)

1.1.3.2 PAIS: Perú

Localidad : Cuchuito. Provincia : Puno. Departamento : Puno

Altiplano alturas mayores de 3800 msnm

Sistema de tratamiento: Lagunas de estabilización

Genera olores muy fuertes, así mismo es un foco de contaminación para el ecosistema, los contaminantes finalmente desembocan en el Lago Titicaca.

(CEPIS, 2005).

1.1.3.3 Centroamérica

En octubre del 2009 en Puntarenas, Costa Rica, los delegados de las instituciones rectoras y empresas de agua estatales de Centroamérica, suscribieron la “Declaración del Agua y el Saneamiento, San José 2009” en la cual expresaron su preocupación por la fragilidad en cuanto al avance en términos de estabilidad jurídica, calidad y sostenibilidad en la prestación de los servicios de agua, a la vez se comprometieron en forma conjunta a gestionar ante sus gobiernos, en el marco del Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento del Sistema de la Integración Centroamericana, posicionar la temática del agua y el saneamiento como una estrategia articuladora para coadyuvar en el desarrollo de los pueblos centroamericanos (XXVII Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2011).

1.1.3.4 Situación Europea (comisión europea, 2011)

En la unión Europea se tiene implementada la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, cuyo objetivo es garantizar que los residuos industriales y humanos no afecten negativamente a la salud humana y al medio ambiente. En el informe correspondiente al período de 2007/2008, sobre la aplicación de la Directiva, indican que se está progresando adecuadamente, pero todavía deben mejorar los índices de cumplimiento en materia de recogida y tratamiento. El informe revela que los Estados miembros más antiguos de la UE han mantenido unas buenas normas de tratamiento de

las aguas residuales, mientras que los nuevos Estados miembros han mejorado globalmente la recogida y el tratamiento.

Janez Potočnik, Comisario europeo de Medio Ambiente, dice: *«Es positivo observar que vamos por el buen camino. Todos tenemos que seguir esforzándonos en conjunto por dar una respuesta eficaz a este grave problema»*.

Las principales conclusiones del informe son las siguientes:

- La mayoría de los sistemas de recogida de aguas residuales urbanas de la UE son buenos y captan el 99% de sus aguas objetivo.
- La superficie total designada como sensible (eutrófica o con riesgo de eutrofización) y que requiere un tratamiento más riguroso se ha incrementado del 68 % al 73 % desde el último informe. Esto podría indicar en parte un aumento de las aguas eutróficas, pero también que los Estados miembros reconocen y protegen mejor sus aguas sensibles.
- Sigue habiendo grandes diferencias en cuanto a la aplicación de un tratamiento más riguroso de las aguas, pero se han alcanzado unos índices de cumplimiento muy altos en Austria, los Países Bajos y Alemania; se registraron mejoras en Dinamarca, Finlandia, Francia, Luxemburgo y Suecia y, en la UE en Lituania sobre todo.
- El tratamiento de las aguas residuales está muy avanzado en las grandes ciudades. No obstante, algunas ciudades siguen sin tener un tratamiento adecuado, de las cuales cuatro se encuentran en la UE: Barreiro/Moita y Matosinhos (Portugal), Fréjus (Francia) y Trieste (Italia).

La Directiva sobre las aguas residuales urbanas dispone que las aguas residuales se recojan y traten en cualquier zona que genere una contaminación de las aguas equivalente a la de una población de más de dos mil personas. Hay casi 23 000 zonas de este tipo en la UE. La Directiva dispone el tratamiento biológico de las aguas residuales («tratamiento secundario») y tiene que procederse a un tratamiento más riguroso en las zonas acuáticas especialmente sensibles, que exigen un grado de protección más alto.

En los Estados miembros de la UE, la Directiva tenía que aplicarse plenamente en el momento del informe, pero se concedieron prórrogas a los países nuevos en sus tratados de adhesión. En 2007/2008, el plazo para aplicar totalmente la Directiva aún no había concluido en Bulgaria, Chipre, Eslovenia, Estonia, Hungría, Letonia y Rumanía.

Un estudio de la Comisión realizado el año 2000 calculó que unos 152 000 millones de euros se invertirían en infraestructuras de tratamiento de las aguas residuales a lo largo del período 1990-2010. Los fondos han ayudado anteriormente a países como Irlanda, España, Italia y Grecia a conseguir enormes mejoras desde la década de 1990, llegándose a cuadruplicar las cifras de tratamiento secundario en algunos casos.

La UE mejora el grado de cumplimiento mediante medidas ejecutivas rigurosas. En 2007, por ejemplo, la Comisión presentó demandas contra Bélgica, España, Luxemburgo y el Reino Unido en relación con la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

1.2 Descripción del área problema

Figura 1-3 Localización del Municipio de Timaná. Fuente: Convenio CAM- Acodal (2006)



Tabla 1-3: Grado de contaminación del municipio sin la PTAR

Resumen de Caudal y Parámetros de Laboratorio Municipio de Timaná - Agosto de 2005								
Vertimiento	Q (l/s)		DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
1	0.24	0.34	94	169	207	388	118	222
2	3.42	3.50	145	174	348	435	152	183
3	12.07	13.59	180	350	378	1003	134	405
4	14.66	15.19	167	230	317	441	174	209
Promedio			146.5	230.75	312.5	566.75	144.5	254.75
Promedio			188.625		439.625		199.625	

Fuente: Acodal, PSMV Timana (2006)

Con el proyecto de construcción de la PTAR también se ejecutaron las obras complementarias como los colectores e interceptores que permitieron recoger y transportar esos vertimientos y llevarlos al nuevo sistema de tratamiento. Más adelante se analizara el impacto generado y los cambios dados a partir de la operación de la Planta de tratamiento de aguas residuales.

1.3 Pregunta de Investigación

¿La implementación de protocolos de operación contribuirá a mejorar la eficiencia de remoción de la carga contaminante en términos de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en el municipio de Timaná?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar protocolos de operación que contribuyan al mejoramiento en la eficiencia de remoción de carga contaminante en términos de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Solidos suspendidos totales (SST) en la Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Timana.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar visitas técnicas a la Planta de tratamiento de Aguas residuales del municipio de Timana para observar las actividades de operacion realizadas, procediendo a implementar actividades propias para ese sistema de acuerdo a sus necesidades.
- Implementar y evaluar los Protocolos de Operación, logrando paulatinamente la estabilización y adecuada operación de la Planta.
- Realizar pruebas de laboratorio que permitan medir la eficiencia de remoción de carga contaminante a lo largo del proceso investigativo y los efectos de los protocolos implementados

1.5 Justificación

La viceministra de Agua y Saneamiento Básico, Leyla Rojas Molano, afirma que “existe en Colombia un montaje con capacidad para tratar el 32% de las aguas residuales, pero la realidad es que tratamos entre un 8% y un 10%, lo que refleja que falta un óptimo mantenimiento y buen uso de la infraestructura que poseemos”. (El Espectador, septiembre 25-2008).

La mayoría de autores no enfatiza en la forma correcta de realizar las actividades principales ni en las herramientas que deben utilizarse” (Romero, 2011).

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006, extendido hasta el 2010 “*Hacia un Estado Comunitario*”, se identificó el tema del manejo integral del agua como una prioridad, dado que constitucionalmente es deber del Estado garantizar un medio ambiente sano. Es así, como cobró especial importancia el diseño de planes y programas orientados a mejorar la calidad del recurso hídrico en el país a cargo de las Autoridades Ambientales, implementando entre otras estrategias, la de fomentar e incentivar en los municipios el adecuado manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales.

“La Constitución Nacional, la Ley 99 de 1993, y la Ley 142 de 1994, entre otras, establecen claramente que es responsabilidad del Estado en cabeza de los municipios y de las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos E.S.P. que demuestren capacidad para ejercer esta labor, asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, que están ligados al tratamiento de las aguas de consumo, a la disposición final de las aguas residuales y a la recolección y disposición adecuada de los desechos sólidos. Actividades que deberán hacer parte de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) en todo el territorio Nacional” (Acodal, diseños PTAR Timana, 2006).

2 Marco teórico

2.1 Generalidades de las aguas residuales

Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa polución solamente cuando ella introduce condiciones o características que hacen que el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma.

Tabla 2-1: Contaminantes de las aguas residuales

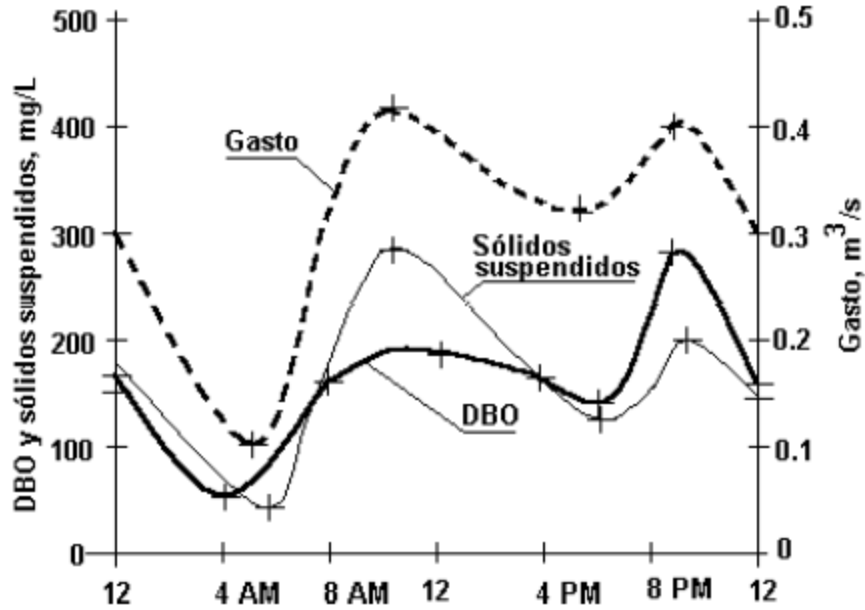
Contaminante	Fuente	Importancia ambiental
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutroficación.
Compuestos orgánicos refractarios*.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

*Refractario: se aplica al cuerpo que resiste la acción de agentes químicos o físicos, especialmente altas temperaturas, sin descomponerse.

Fuente: Antecedentes del tratamiento de aguas residuales

La siguiente figura muestra el impacto de la carga contaminante especialmente de 8 am a 8 pm

Figura 2- 1: Variación típica del gasto, solidos suspendidos y DBO₅ en aguas residuales municipales.

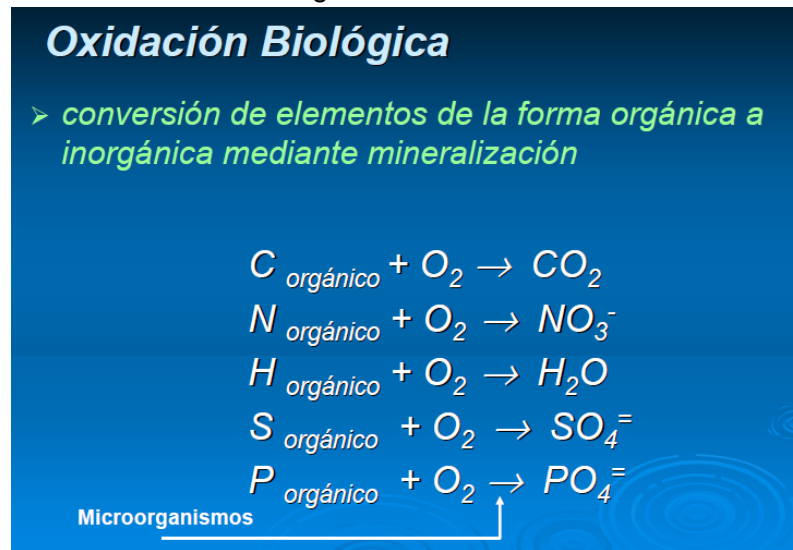


Fuente: Antecedentes del tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuadas a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo la labores de operación y mantenimiento.

El tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas cálidas funciona mejor ya que los microorganismos se adaptan y realizan un proceso de digestión más efectivo (Cepis 2005).

Figura 2- 4: Transformación biológica en una PTAR



Collazos, (2008).

En la siguiente figura se observa que nuestro proceso de tratamiento (PTAR Timana) que es la digestión anaerobia aunque remueve carga contaminante no elimina patógenos, en caso de requerirse se debe implementar un tratamiento terciario.

Figura 2- 5: Remoción de patógenos.

Remoción de Patógenos

Proceso	<i>E. coli</i>	<i>S. fecal</i>	<i>Salmonella</i>	Virus
Sedimentación Primaria	V	V	V	20-55
Lodos Activados	60-95	85	-	65-94
Filtros Percoladores	60-100	60-100	-	83-94
Lagunas de Oxidación	99	-	-	92-99
Lagunas	70-90	90-99	93	79-95
Digestión Anaerobia	NE	NE	NE	NE

Collazos, (2008).

2.2 Normatividad

“El vertimiento de residuos líquidos está reglamentado por el decreto 1594 de 1984 que trata los usos del agua, los residuos líquidos y a grosso modo los criterios de orden técnico en lo referente a los parámetros de control.

No obstante tanto en el decreto 1594 de 1984 como en las demás normas nacionales sobre vertimientos, especialmente en la Ley 142 de 1994, sobre prestación del servicio público de alcantarillado, se genera ambigüedad en el tema de porcentajes de remoción exigidos antes de la descarga, porque si bien **se habla de un 80%**, esto obliga en casos a tolerar sistemas de tratamiento con vertimientos similares a un agua residual doméstica, o exigiendo sistemas en caso que no lo requieren” (Carvajal, 2013)

Tabla 2-2: Características de las aguas residuales urbanas

PARAMETRO	CONCENTRACION mg/l		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos Totales	1000	500	200
DBO	300	200	100

Fuente: decreto 1594 de 1984

Valores máximos permitidos

DBO > 1000 mg/l

SST > 800 mg/l

Decreto 901 de 1997: Reglamenta la ley 99/93 (artículos 42 y 43), respecto a la implementación de tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales a un cuerpo de agua. La tasa es planteada como el costo que debe asumir el estado en recuperar la calidad del recurso hídrico por permitir utilizar el medio ambiente como receptor de los vertimientos y plantea el cobro por la descarga de dos parámetros indicadores de contaminación; la Demanda bioquímica de oxígeno

(DBO) y los Sólidos Suspendidos (SST), los cuales son el reflejo de la más generalizada contaminación de los cuerpos de agua en Colombia.

3 Metodología.

3.1 Diseño de técnicas de recolección de información.

La información base de este estudio es principalmente la consulta de dos documentos: uno es el Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos del municipio de Timaná y los estudios y diseños de la Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Timaná; además de la consulta bibliográfica respecto al tratamiento de aguas residuales y la experiencia del investigador sobre el tema.

El trabajo de campo, fue una fuente de información, empleándose la interacción y entrevista a los operadores de la Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Timaná y al Gerente de la Empresa de servicios públicos operadora del sistema de tratamiento.

3.2 Población y muestra.

La población de este estudio es el casco urbano del municipio de Timaná, que es la población para la cual se construyó el proyecto de la Planta de tratamiento de aguas residuales. Para el año 2012 la población urbana es de 9800 habitantes según la tabla No. 10 de proyección de población del PSMV de Timaná.

A la Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Timaná se espera que no lleguen contaminantes industriales debido a que la economía del municipio está basada principalmente en la explotación agrícola y la ganadería.

En menor medida, la minería, la acuicultura y la piscicultura. En cuanto a la industria esta tiene poco desarrollo, se destaca la producción de cajas mortuorias y tres silos para secado de café. El comercio es el sector predominante, con almacenes de venta de ropa, alimentos, calzado, insumos agrícolas y de construcción, así como comercializadoras de café.

Tabla 3- 1: Información sobre servicios públicos de Timana

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Total de viviendas	Cantidad	1910
Personas promedio por vivienda	Cantidad	3
Población atendida con acueducto	habitantes	6770
Población atendida con alcantarillado	habitantes	6482
Cobertura de acueducto	%	99.74
Cobertura de alcantarillado	%	95.50
Suscriptores de Acueducto Urbano	Cantidad	1905
Medidores instalados	Cantidad	1708
Medidores dañados o frenados	Cantidad	18
Suscriptores sin medidor	Cantidad	197
Medidores Funcionando	Cantidad	1690
Macro medidores	Cantidad	2
Volumen de Agua producida	m3/mes	66000
Volumen de Agua producida	m3/día	2200
Caudal de Agua tratada	l/s	25.46
Volumen de agua facturada	m3/mes	40057
Volumen de agua facturada	m3/día	1335
Promedio de producción requerida agua	l/s	15.45
Pérdidas de agua primer trimestre 2.006	m3	77829
Pérdidas de agua primer trimestre 2.006	m3/día	865
Pérdidas de Agua Producida	l/s	10.01
Índice de Agua no Contabilizada	%	39.31

Fuente: PSMV Timana. Acodal, (2006)

3.3 Técnicas de análisis.

El análisis de los resultados de este trabajo se realizó a partir de los datos de laboratorio producto de las caracterizaciones de agua residual a la entrada y salida de la planta, a lo largo de todo el periodo de la investigación.

3.3.1 Caracterización de Aguas Residuales

Toda caracterización de las aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general, un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros a analizar, especialmente en un medio como el nuestro donde no es justificable asignar más recursos de los estrictamente necesarios para satisfacción del objetivo propuesto

Demanda Teórica de Oxígeno (DTO): Cantidad teórica de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de un desecho hasta dióxido de carbono y agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO: Es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar el residuo biológicamente

$$DTO > DQO > DBO_u > DBO_5$$

$$DBO_5 / DQO = 0.5$$

$$DBO_u / DBO_5 = 1.5$$

3.4 Guía de trabajo de campo.

En cada visita se trabajaba con el operador de la planta a quien se le indagaba sobre las actividades realizadas, la periodicidad, imprevistos surgidos, elementos de trabajo disponibles, aforos y caracterizaciones de agua, quejas de la comunidad, generación de olores, etc.

Se realizaron trabajos de mantenimiento donde se le acompañaba e instruía al operador en temas como: limpieza del canal de entrada, mantenimiento de desarenadores, operación de válvulas, recolección de sobrenadantes, medición del nivel de lodos, purga de lodos, análisis de la unidades de tratamiento, retiro de biosólidos, retiro y disposición de residuos sólidos, registro de datos, aseo general, mantenimiento de zonas verdes y ornato, salud ocupacional, etc

Mediante caracterizaciones de agua, mediciones antes y después (agua a la entrada de la planta de tratamiento y como sale el agua después del tratamiento), algunas realizadas por la Empresa de servicios públicos encargada de la operación de la PTAR y otras realizadas por el investigador con laboratorios no certificados pero con las técnicas requeridas, permitieron realizar un seguimiento periódico y analizar la evolución del sistema.

Tabla 3-2: Programación Trabajo de campo

FECHA visita Técnica	OBJETIVO
Junio 2011	Realizar descripción del sistema mediante reconocimiento de cada una de las unidades y su funcionalidad
Septiembre 2011	Revisión de estado de válvulas y otros elementos hidráulicos, y estado general del sistema. Exposición del protocolo de pretratamiento (prácticas)
Diciembre 2011	Refuerzo del protocolo de pretratamiento y exposición del protocolo de tratamiento primario (prácticas)
Mayo 2012	Refuerzo de los protocolos de pretratamiento y tratamiento primario. Exposición del Protocolo de tratamiento secundario (prácticas)
Septiembre 2012	Refuerzo de los protocolos de pretratamiento, tratamiento primario y secundario. Exposición del protocolo de manejo de lodos (prácticas)
Enero 2013	Revisión de la implementación de los protocolos de operación

Fuente: Fechas en las que se realizaron las visitas a la Planta de tratamiento del municipio de Timana y se realizó trabajo práctico.

Después de cada visita técnica se generaba un informe el cual se remitía al ente operador de la Planta con el fin de compartir un documento de instrucción que permitiera ir mejorando el conocimiento del sistema y el desarrollo de las labores. Los informes mencionados se presentan al final de este trabajo como anexos.

Fechas en las que se realizaron caracterizaciones de las aguas residuales del municipio de Timana y se utilizaron como insumo de este trabajo de investigación:

- Diciembre 2008
- Diciembre 2010

- Julio 2011
- Octubre 2011
- Enero 2012
- Julio 2012
- Diciembre 2012
- Marzo 2013

4 Resultados

4.1 Operación de la PTARD de Timaná

Tabla 4-1: Parámetros de control

TIPO DE PARAMETRO		PUNTO DE CONTROL
FISICOS	Profundidad de lodos Natas y flotantes Producción de gases Producción de espuma Olor Vegetación Puntos muertos Encharcamientos	RAFA RAFA Cámara de gases-RAFA Canal de entrada, tanques y canaletas Todos los elementos Canales, patios, pasarelas, lechos de secado Canaletas Canales, patios, pasarelas, lechos de secado
HIDRAULICOS	Caudal promedio Fluctuaciones	Canaleta Parshall Canal de entrada

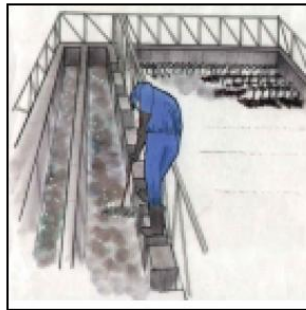
Fuente: XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y Ambiental (2011).

En la figura pueden observarse ejemplos de actividades a desarrollar, nótese que se presenta al operador con uniforme y equipo de protección completo y además se visualizan las herramientas a utilizar para cada actividad.

Figura 4-1: Operaciones de limpieza



a) Limpieza de Rejillas



b) Limpieza de canales en percoladores



c) Limpieza de natas en lagunas

XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y Ambiental (2011)

Figura 4-2: Equipo de Protección Personal.

Equipo de Protección Personal (EPP): Se describe el equipo a utilizar, se hace énfasis en que los operadores verifiquen el buen estado de los mismos antes de usarlos y que informen al supervisor si éste está dañado o deteriorado.

El EPP está compuesto por:

1. Gorra
2. Mascarilla
3. Guantes
4. Uniforme completo
5. Botas de hule



Fuente: XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y Ambiental (2011)

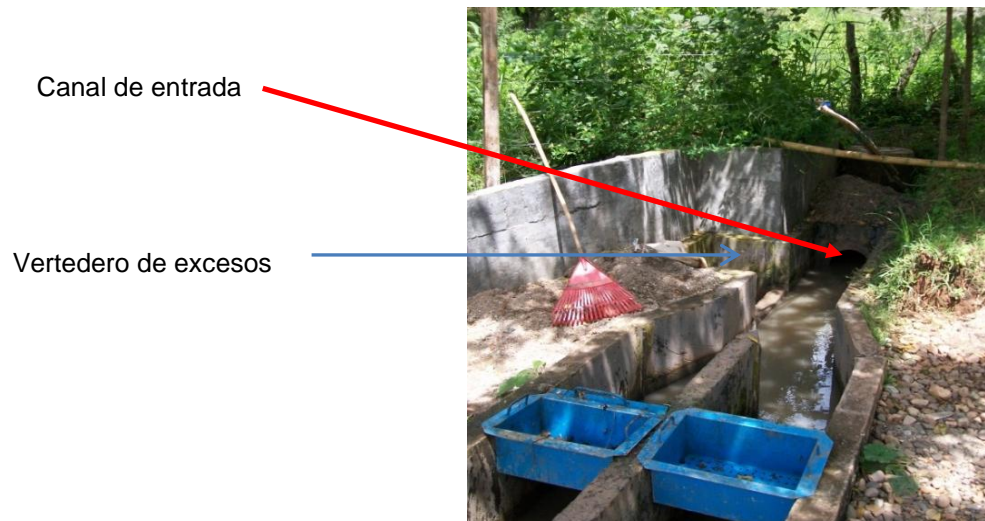
4.1.1 Protocolo 1: Pretratamiento

Lo conforma el canal de entrada con vertedero de excesos, rejas de cribado, desarenadores, canaleta Parshall.

- **Canal de entrada**

Es la primera estructura que recibe el agua en la planta; consiste en un canal provisto de un vertedero de excesos para regular el caudal de entrada. Tiene la función de disipar la energía y lograr un flujo uniforme a la entrada de la planta.

Figura 4-3: Canal de entrada



En esta estructura se deposita material de playa, principalmente arenas. Estos materiales deben retirarse con pala o con un recogedor metálico, que soporte el peso; esta es la primera actividad que se realiza y su frecuencia depende del estado del tiempo, ya que en tiempo lluvioso hay mayor arrastre de este tipo de materiales.

Las arenas que se sacan se depositan a un lado del canal y posteriormente se transportan en el coche o carreta hasta la zona de disposición de arenas
Realizar limpieza de paredes y piso de la cámara con cepillo, cada que sea necesario.

Figura 4-4: Limpieza del canal de entrada



En épocas de invierno cuando aumenta considerablemente el caudal, es recomendable cerrar la entrada de agua, ya que esta es principalmente agua lluvia y podría dañar el proceso de tratamiento en los módulos siguientes.

- **Rejas de cribado**

Empleadas para remover material grueso de las aguas residuales, conformado primordialmente por basuras, material sólido grueso y en general todos aquellos desperdicios presentes en las aguas residuales que ofrecen peligro para la operación correcta de válvulas y procesos biológicos. La rejilla consta básicamente de un sistema de barras paralelas, inclinadas, igualmente espaciadas y colocadas en la sección transversal del canal de aproximación.

Son dos unidades

En la entrada de cada reja, se ha instalado una compuerta manual que impide el paso del agua y permite realizar labores de limpieza y mantenimiento.

Figura 4-5: Rejas de cribado y compuertas para sacarlas de servicio



A la Planta llega gran cantidad de residuos sólidos y bolo fecal no destruido, material que queda retenido en las rejas. La frecuencia de limpieza debe ser de mínimo dos horas, esta labor se realiza con un rastrillo que se pasa entre los barros de la reja.

Figura 4-6: Limpieza Rejas de cribado



Las rejillas de limpieza manual van seguidas por canastas de recepción y escurrimiento del material retenido en éstas.

- **Desarenadores**

Consiste en un tanque de flujo horizontal que tiene como función sedimentar las partículas más ligeras, permitiendo que alcancen el fondo del tanque antes de su extremo de salida.

La desarenación tiene por objetivo la retención, en corto tiempo, de los sólidos más pesados que se encuentran en el agua, como arena, grava, lodo y adicionalmente materiales orgánicos.

Esta es una unidad de tratamiento preliminar y evita problemas relacionados con la disposición de sólidos en las tuberías, canales y reactores.

El propósito es reducir la cantidad de sólidos, eliminar interferencias en los procesos y operaciones siguientes y evitar daños u obstrucciones en tuberías y equipos. Con la desarenación baja la turbiedad del agua y así empieza la clarificación.

La desarenación se lleva a cabo en una estructura denominada Desarenador que se encuentra después de las rejillas de cribado y antes de la canaleta Parshall. Son dos módulos de 4 metros de longitud, 90 cm de ancho y una profundidad de 1 metro, para una capacidad hidráulica de 40 l/s, que permite trabajar con un módulo mientras en el otro se realizan labores de limpieza y mantenimiento.

Cada módulo dispone de una tolva para la acumulación de arenas, que consiste en una depresión en el fondo de 30 cm de profundidad; además existen dos compuertas manuales (una a la entrada y otra a la salida) que permiten sacarlos de operación para efectos de limpieza y mantenimiento.

Figura 4-7: Desarenadores



A cada desarenador se le debe hacer limpieza una vez por semana. Aunque esto puede variar dependiendo de la calidad del agua y del estado del tiempo eso lo debe evaluar el operador.

Cuando se va a hacer mantenimiento a un desarenador se colocan las compuertas de entrada y salida, para sacarlo de servicio, y se abren o quitan las del otro para colocarlo en funcionamiento.

Figura 4-8: Compuertas para sacar de servicio un Desarenador



El tanque aislado se vacía abriendo la válvula de salida en la cámara contigua que permite desaguar los desarenadores. Cada desarenador posee una tubería perforada que permite vaciar el agua y retener los sólidos para posteriormente retirarlos de forma manual.

Figura 4-9: Válvulas de purga de desarenadores



El desarenador se deja escurriendo aproximadamente dos horas para poder sacar los sólidos con menos contenido de agua.

Figura 4-10: Escurrimiento de lodos en desarenadores



Con pala se saca el material y se deposita en recipientes plásticos perforados para dejarlo escurrir hasta el día siguiente. Cuando se termina la jornada estos

recipientes deben cubrirse con un plástico para evitar que se saturen de agua en caso de lluvia.

Figura 4-11: Esguimiento de lodo sacado de Desarenadores



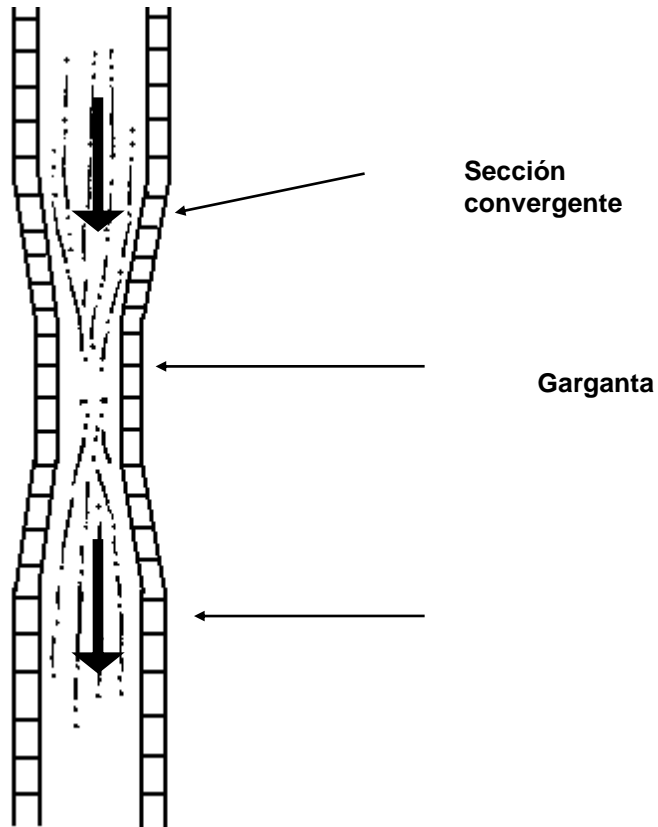
Como la unidad ya está vacía, se lavan paredes y piso con cepillo. Los recipientes plásticos, palas y otros elementos utilizados también se lavan, dejando todo limpio.

- **Canaleta Parshall**

Figura 4-12: Sistema de aforo: Canaleta Parshall



Básicamente consiste en un canal en fibra de vidrio compuesto por tres secciones:



- Sección convergente: Por esta parte entra el agua.
- Garganta: Esta sección tiene un ancho de 6", una pendiente fuerte y debido a su estrechamiento la velocidad aumenta.
- Sección divergente: Esta localizada al final de la estructura y se caracteriza por tener una pendiente suave.

A la salida de la Canaleta Parshall se tiene una caja distribuidora del flujo que permite alimentar y sacar de servicio el sistema de tratamiento primario por medio de compuertas manuales y un vertedero para desviar el flujo, que además permite rebozar los excesos de caudal.

4.1.1.1 Actividades de operación

La canaleta se utiliza para determinar el caudal que ingresa a la PTAR. La medida del flujo se realiza tomando la lectura de la regla de nivel que se encuentra instalada a un lado de la canaleta. Este dato debe tomarse cada hora y registrarse en la planilla respectiva.

El lavado de la canaleta con cepillo debe realizarse 2 veces al día.

Figura 4-13: Limpieza Canaleta Parshall



Tabla 4-2: Protocolo de operacion area de Pretratamiento

AREA	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Pretratamiento-general	Lavado de todas las unidades con cepillo	Minimo una vez al dia
CANAL DE ENTRADA	Control de caudal	En caso de lluvia fuerte debe cerrarse la entrada
	Recoleccion y extraccion de material de playa (arenas, triturado)	Al iniciar turno, y en la tarde, minimo dos veces al dia
REJAS DE CRIBADO	Limpieza con el rastrillo y deposito en canastillas	Minimo cada hora
DESARENADORES	Extraccion de material del Desarenador.	A cada desarenador minimo una vez por semana. Previamente poner a escurrir el desarenador minimo medio dia, abriendo las valvulas de purga. Igualmente dejar medio dia escurrir las pocheras con el material solido.
CANALETA PARSHALL	Lectura de caudal. No permitir ingreso de un caudal superior al de diseño	Cada hora

4.1.2 Protocolo 2: Tratamiento primario

- **RAFA: Reactor anaerobio de flujo ascendente**

En cuanto a la operación y mantenimiento, debe llevarse una adecuada rutina que contemple los siguientes aspectos, como evitar que la alcalinidad descienda agregando especies alcalinas para evitar el colapso por acidificación, el valor mínimo recomendable del pH es 6.5, para lo cual se recomienda hacer medidas diarias, ojala con phchimetro, o por lo menos con cinta de medición de pH.

Debe hacerse un mantenimiento periódico a todas las estructuras y equipos para la recolección y manejo de los gases generados para asegurar que se minimicen los porcentajes de impactos a la comunidad por olores desagradables. En el caso

de esta PTAR, no cuenta con chimenea para quemar los gases y así mitigar olores y evitar el efecto invernadero, ya que aunque está en el diseño, quizá en la construcción se hicieron cambios de obra para suplir imprevistos y se quitó este ítem. Pero se le recomendó al ente operador que la instalara.

Tabla 4-3: Protocolo de operacion area de Tratamiento primario

AREA	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Tratamiento primario-general	Lavado de muros y canaletas con cepillo	Minimo una vez al dia
Reactor RAFA	Recoleccion de sobrenadantes en canal de distribucion y reactor como tal, para esto se utiliza una nasa	Minimo tres veces al dia
	Purga de lodos	Minimo cada dos dias, durante dos minutos. Pero periodicamente hay que revisar las valvulas de muestreo para verificar el nivel de lodos

Figura 4-14: Valvulas de muestreo de lodos



Figura 4-15: Muestra de lodos



4.1.3 Protocolo 3: Tratamiento secundario

- **FAFA: Filtro anaerobio de flujo ascendente**

Figura 4-16: Filtros FAFA



Tabla 4-4: Protocolo de operacion area de Tratamiento secundario

AREA	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Tratamiento secundario-general	Limpieza exterior y quitar telarañas	Minimo una vez por semana
Filtros FAFA	Purga de lodos	Minimo una vez al mes, durante dos minutos. Pero esto se evalua previamente al realziar la apertura de la valvula de purga y observar la densidad y cantidad del lodo

4.1.4 Protocolo 4: manejo final de lodos

Figura 4-17: Lechos de secado



Tabla 4-5: Protocolo de operacion lechos de secado

AREA	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Lechos de secado	Verificar metrial filtrante	Cada año
	Reponer nivel de arena del lecho	Cada mes
	El lodo descargado debe ser cuarteado	Una vez el lodo esta un poco seco
	Aplicar cal	En caso d epresentarse olores y mosquitos
	Retirar el lodo que previamente se partio cuarteo	Cada mes

4.1.5 Analisis de laboratorio

Tabla 4-6: Monitoreos realizados en la PTAR de Timana entre los años 2008 y 2013

Fecha caracterización	Caudal Tratado QafI (l/S)	DBO (mg/L) PTAR		SST (mg/L)		%Eficiencia de Remocion del sistema de tto en DBO	%Eficiencia de Remocion del sistema de tto en SST
		Entrada	Salida	Entrada	Salida		
Diciembre 2008	18.39	195.5		53		0	0
Diciembre 2010	22.33	596	136	115	104	77.18	9.57
Julio 2011	21	300	180	240	169	40.00	29.58
Octubre 2011	18	252	145	223	153	42.46	31.39
Enero 2012	11	240	103	215	96	57.08	55.35
Julio 2012	10.4	291	91	227	241	68.73	-6.17
DIC 2012	10.4	291	85	227	86	70.79	62.11
Marzo 2013	12	280	60	200	50	78.57	75.00

Fuente: De los Monitoreos y análisis de laboratorio los del año 2008, 2010 y julio 2012 fueron reportes de la Empresa de servicios Públicos de Timana, los demás fueron realizados por el investigador con sus propios medios y con laboratorios no certificados.

La anterior nos permite observar como el mejorar las labores de operación y mantenimiento del sistema fueron arrojando resultados positivos en cuanto a la remoción de la carga contaminante, pudiendo responder de forma positiva a la pregunta de esta investigación: *¿Cómo afectarán las labores de operación en la eficiencia de remoción de la carga contaminante en términos de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en el municipio de Timaná?*. Es así como podemos responder que la implementación de labores de operación y mantenimiento permanentes y adecuadas contribuyeron a mejorar la remoción de carga contaminante en la Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas del municipio de Timana – Huila.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El último análisis de aguas que se realizó durante esta investigación (marzo 2013) demuestra que el trabajo desarrollado permitió cumplir el objetivo propuesto, ya que con la implementación de actividades diarias de operación se logró llegar a eficiencias de remoción promedio de 75% en los parámetros de DBO y SST, demostrando que el sistema construido es funcional siempre cuando se realice una adecuada operación y se acometan las optimizaciones que se vayan requiriendo.
- Cuando se genera un caudal superior al de diseño, generalmente es aporte de aguas lluvias y/o limpias, estos excesos no deben ingresar a la Planta, ya que el sistema no trabajaría con los tiempos de retención de diseño, además los microorganismos sufrirían afectación en cuanto a cantidad de población y calidad del alimento recibido. Esta situación no es indicativa de un diseño inadecuado, ya que los sistemas de tratamiento de aguas residuales son para aguas residuales, no para aguas lluvias, por lo tanto ese aporte no se debe tener en cuenta; para las aguas lluvias se deben construir alcantarillados independientes que descarguen directamente en las fuentes hídricas.
- Un sistema de manejo de aguas residuales por su naturaleza propia siempre va a presentar algún tipo de olor, pero con la adecuada operación y las labores de mantenimiento continuo, además de la implementación de cerca viva y ornato, se pueden mitigar considerablemente. Esto se corrobora ya que cuando se realizaban actividades inadecuadas como cerrar la planta para lavar desarenadores, cuando no se realizaban las purgas de lodos, limpieza del pretratamiento, se intensificaba la generación de olores.

- Hay que realizar mantenimiento periódico a todo el sistema de válvulas, de los desarenadores, de los RAFA, de los FAFA y de los lechos de secado, las cuales deben lubricarse y usarse. La falta de estas dos actividades genera atascamientos y ruptura de palancas.
- En la consulta bibliográfica no se encontraron Manuales detallados sobre operación de Plantas de tratamiento de aguas residuales, actualmente no hay certificación en competencias laborales en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales y en general se observa poco conocimiento en el tema operativo, es una labor en la que los profesionales del área debemos trabajar más.
- Si bien en las plantas de tratamiento de agua residual hay mucho trabajo manual, es necesario que los operadores tengan un nivel educativo por lo menos técnico que les permita entender mejor el sistema y realizar registro y análisis de datos.
- Los análisis de aguas del afluente y efluente de la Planta son necesarios no solo por ser requisito de la Autoridad Ambiental, sino porque son datos de gran importancia para saber cómo está funcionando la Planta y si está cumpliendo con su objetivo. Y aunque para empresas de bajos recursos estos análisis son un poco costosos, si tuvieran operadores capacitados estos podrían realizar la toma de muestras, composición, cadena de custodia y entrega al laboratorio, lo cual disminuiría considerablemente los costos.
- Es necesario que las empresas de servicios cuenten con un Ingeniero sanitario o civil que coordine las actividades operativas y pueda dar solución a daños o imprevistos que se presenten.
- Los operadores de la Planta deben conocer y tener en la caseta de operaciones los planos y el diseño de la planta, para entender mejor el sistema y poder controlar por ejemplo el caudal de entrada, evitando que pase más del de diseño. También es importante tener un Manual de operación y mantenimiento.

- Las Empresas de servicios públicos deben concientizarse que es necesario destinar un presupuesto mensual para la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que este requiere herramientas, insumos, servicios públicos como acueducto y energía, pago de operadores, celador. Pero esto a su vez debe equilibrarse con la disminución en el pago de la tasa retributiva cuando el sistema funciona adecuadamente.
- Los Planes de Uso eficiente y ahorro del agua son importantes ya que contribuyen a que a la Planta de tratamiento de aguas residuales no ingrese más del caudal de diseño. El consumo exagerado de agua por la falta de conciencia e inadecuada facturación y pocas campañas educativas, incrementa los consumos en acueducto y este repercute en el alcantarillado.
- Los desarenadores son estructuras diseñadas fundamentalmente para retener y eliminar del agua residual las arenas y material grueso que no fue retenido por el sistema de cribado, ya que estos materiales pueden ocasionar incrustaciones y abrasión en tuberías y equipos, así como dificultades en los procesos de tratamiento biológicos. Durante el proceso de seguimiento se observó que las deficiencias en el mantenimiento de estas estructuras incidía en la poca remoción de carga contaminante.
- Teniendo en cuenta que las guadas que se colocaron en los reactores RAFA actuaron como área de contacto aumentando la eficiencia del sistema de tratamiento, se podría decir que en esta unidad funcionaria mejor un sedimentador de alta tasa.
- Teniendo en cuenta que un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente es un reactor o tanque en cuyo interior se dispone de un medio de soporte (lecho), en cuya superficie e intersticios se fijan las bacterias y que este lecho debe estar fijo, lo cual significa que las bacterias no se mueven libremente, sino que están adheridas a un soporte inerte, donde la remoción de carga orgánica depende del área de contacto del lecho, de la velocidad del flujo a través de éste y de la

porosidad; es claro que el no cumplimiento de estas características estaba afectando considerablemente la efectiva función de esta unidad, la cual solo funciono bien hasta que se fijó el material filtrante que se había dispersado por todo el tanque, y cuando se colocó la cantidad suficiente.

- La purga periódica del lodo de los reactores y la adecuación del material filtrante de los FAFA fue de gran importancia para lograr remover sólidos.

5.2 Recomendaciones

Sería interesante continuar con la investigación, realizando acompañamiento a las actividades de operación y análisis de laboratorio para ver hasta qué nivel máximo de remoción de carga contaminante puede llegarse.

Otro resultado interesante de ver es que pasa en el tiempo con las guaduas instaladas en los reactores, que vida útil tienen y que impactos generan.

La instalación de un quemador de gas permitiría observar que tanto gas se genera y por ende los índices de digestión del proceso.

También se podría hacer seguimiento a otros parámetros que permitan complementar el presente estudio, por ejemplo el oxígeno disuelto, grasas y aceites, fosforo, nitrógeno, pH, turbiedad, entre otros.

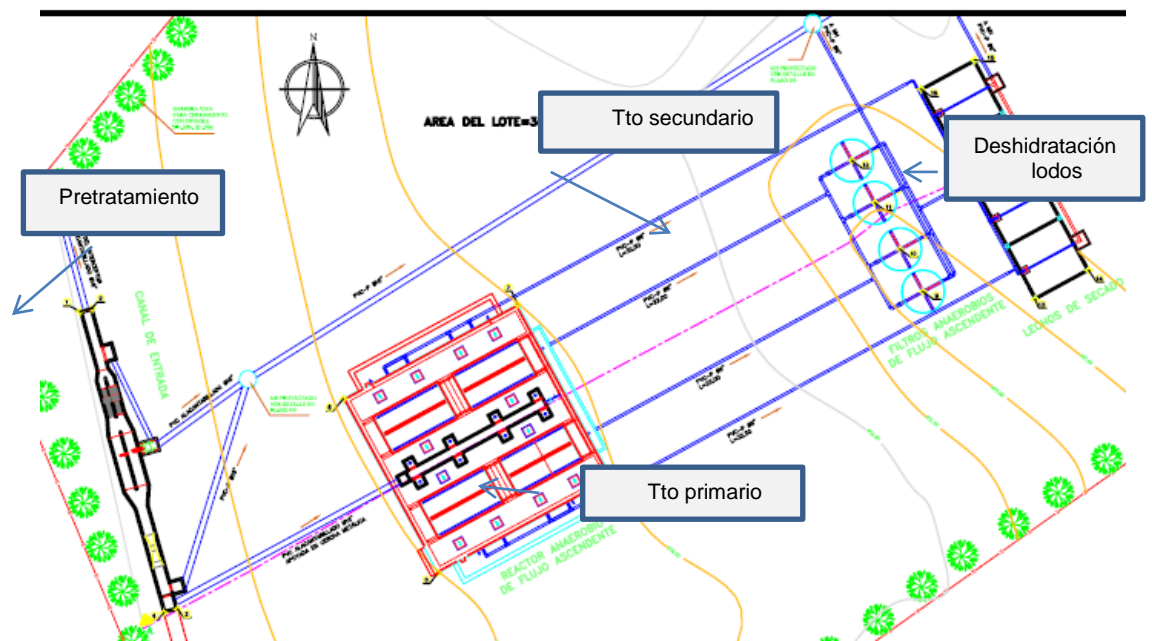
En general los protocolos de operación indicados en este trabajo podrían adaptarse a otras plantas de agua residuales para construir un manual de operación que permita mejorar las actividades que deben realizarse y por ende como se logró en este trabajo incrementar paulatinamente los porcentajes de remoción de carga contaminante.

Este estudio puede ser base para la operación de otras plantas de tratamiento de agua residual, ya que entre otros, realiza una explicación detallada de las actividades operativas necesarias. Constituye además un antecedente importante

para otras investigaciones que ayuden a profundizar en el tema y en el mejoramiento en los procesos de depuración de aguas servidas. Proporcionando además elementos importantes para investigaciones de tipo proyectivo o integrativas, que permitan proponer y ejecutar proyectos para mejorar el tratamiento de las aguas residuales.

ANEXOS

A. Anexo: Esquemas del Sistema de tratamiento de aguas residuales del área urbana del municipio de Timaná (Huila).



Vista en planta - Fuente: Diseños Acodal (2006)



Planta general. Registro fotográfico mayo de 2012



Planta general. Registro fotográfico septiembre de 2012

B. Anexo: GLOSARIO Y SIGLAS

Los conceptos estructurales y transversales de la presente investigación se describen a continuación:

Afluente: Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas residuales (AR): Aguas que contienen material disuelto y en suspensión, luego de ser usadas con fines doméstico, agrícola e industrial.

Aguas residuales crudas: Aguas residuales que no han sido sometidas a proceso de tratamiento.

Aguas residuales domésticas (ARD) o Municipales: generadas por actividades domésticas; servicios sanitarios, lavado de ropa, etc

Alcantarillado de aguas residuales: Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

Alcantarillado Combinado: Sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales.

Análisis de vulnerabilidad: Es el estudio que permite evaluar los riesgos potenciales a que están sometidos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua.

Análisis microbiológico del agua: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis organoléptico del agua: Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y / o suspendidos en el agua.

Análisis físico-químico del agua: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Ambiente aerobio: Medio provisto de oxígeno molecular, en el cual organismos aerobios y anaerobios facultativos desarrollan procesos bioquímicos en condiciones de oxidación.

Ambiente anaerobio / anóxico: Medio desprovisto de oxígeno molecular, en el cual organismos anaerobios estrictos desarrollan procesos bioquímicos en condiciones anóxicas.

Bacteria: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Calidad del agua: Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Cámara: Compartimento con paredes, empleado para un propósito específico.

Capacidad de asimilación: Condición de los cuerpos de agua que les permite absorber sin impactos negativos la carga contaminante que reciben.

Concentración: Denominase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

Contaminación del agua: Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días a 20°C.). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual.

Desarenador: Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Descomposición anaerobia: Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

Desinfección: Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Emisario: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final.

Enfermedades transmitidas por el agua: enfermedades transmitidas a través de aguas contaminadas, carentes de tratamiento eficiente. Algunos ejemplos, los constituyen el cólera, la fiebre tifoidea, la shigellosis, la poliomiелitis, la meningitis y la hepatitis A y E.

Evaluación de Impacto Ambiental: Es uno de los instrumentos preventivos de gestión que permite que las políticas ambientales puedan ser aplicadas en el proceso de desarrollo y de toma de decisiones. Por ende, evalúa y corrige las acciones humanas y evita, mitiga o compensa sus eventuales impactos ambientales negativos.

Filtro percolador: Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

Gestión ambiental: Proceso orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permiten al hombre y la mujer el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio.

Lechos de secado: Dispositivos que permiten eliminar gran cantidad de agua contenida en lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

Muestra integrada: Consiste en el análisis de muestras instantáneas tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Paso directo (By Pass): Conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten desvío del agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento.

Planta de tratamiento de agua residual: Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Población servida: Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

Proceso biológico: Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB): Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Saneamiento básico: Son las actividades propias del conjunto de los servicios domiciliarios de alcantarillado y aseo. Incluye el sistema de alcantarillado sanitario

y pluvial, dentro del cual se encuentra el sistema de tratamiento de aguas servidas, y el sistema para la recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Sedimentación: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Sistemas de fitodepuración: Consisten en lagunas donde plantas acuáticas específicas se multiplican, absorbiendo los nutrientes o los contaminantes, favoreciendo la restauración de la calidad del agua, después de un tiempo determinado de retención hidráulica.

Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento de aguas residuales: Es un proceso en el cual se eliminan del agua las sustancias disueltas y suspendidas que contienen, hasta que el efluente pueda ser utilizado para fines agrícolas, recreativos o industriales o verterse a un cuerpo de agua con mínimo impacto para éste.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. Estos sistemas usualmente alcanzan remociones del 40% de la carga contaminante.

Tratamiento secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos. Puede alcanzar remociones del 80% de la carga contaminante.

Tratamiento por Cloración: Suministro de cloro y/o compuestos clorados al agua residual para su desinfección.

Tratamiento - Eficiencia: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en términos porcentuales.

SIGLAS

AR: Agua residual

ARD: Agua residual domestica

CAR: Corporación Autónoma Regional

CAM: Corporación autónoma regional del alto Magdalena (jurisdicción: Huila)

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

ESP: Empresa de servicios públicos

FAFA: Filtro anaerobio de flujo ascendente

OD: Oxígeno disuelto.

PSMV: Plan de saneamiento y manejo de vertimientos

PTAR: Planta de tratamiento de agua residual

PTARD: Planta de tratamiento de agua residual domestica

RAFA: Reactor anaerobio de flujo ascendente

RAS: Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico

SST: Solidos suspendidos totales

Bibliografía

[1] SEGURO, Reynaldo. Convenio 041-2006 Departamento del Huila, Aguas del Huila, Corporación Autónoma del Alto Magdalena. Construcción PTAR Timaná, Tarqui, Santa María, Saladoblanco. Acodal. (2006). Consultado en el Centro de documentación de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, Neiva.

[2] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería, 3ª Edición, Bogotá D.C., junio de 2.005.

[3] SEGURO, Reynaldo. Convenio 092-2007. Departamento del Huila, Aguas del Huila, Corporación Autónoma del Alto Magdalena. Construcción PTAR Campoalegre. Acodal. (2007). Consultado en el Centro de documentación Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - Neiva.

[4] SEGURO, Reynaldo. Acodal. PSMV Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos del municipio de Timana. 2006. Consultado en el Centro de documentación Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - Neiva.

[5] EL ESPECTADOR (2008, Septiembre 25). Tratamiento de Aguas residuales en Colombia. Recuperado en Diciembre de 2010 en www.elspectador.com/.../articuloimpreso-colombia-solo-trata-9-de-sus-aguas-residuales.

[6] MINISTERIO DE AMBIENTE. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales (2002). Recuperado en febrero de 2011 en www.minambiente.gov.co

[7] Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010. Recuperado en febrero de 2011 en www.minambiente.gov.co.

[8] TORRES, Germán R. Guía RAS 005 Diseño de Sistemas de Recolección y Evaluación de Aguas Servidas, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá Diciembre de 2.004.

[9] VILLAFAÑA, Manuel Ángel. Tratamiento de agua residual de origen urbano-doméstico en el Estado de Guanajuato. (2007). Recuperado en marzo de 2011 en http://seia.guanajuato.gob.mx/document/AquaForum/AF46/AF4601_TratamientoAguaResidual.pdf.

[10] ACODAL, Convenio: CAM – Acodal, Diseño del interceptor y planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del área urbana del municipio de Timaná (Huila). (2006). Consultado en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena -Neiva.

[11] Google imágenes: mapa Timaná. Recuperado en marzo de 2012

[12] VILLEGAS GALLÓN, Margarita María; Vidal Tordecilla, Elda Esther. Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia. (1983-2009). Trabajo de Monografía para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental.

[13] ARGUELLO, Roberto A. Presentación tecnológica del ambiente. Gestión de las Aguas Residuales. AIDIS El salvador. Recuperado en diciembre 2011 en www.aidis.org

[14] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Título E: Tratamiento de aguas residuales. República de Colombia, Bogotá D.C., Noviembre de 2000.

[15] CONPES 3177 de julio 2002. *Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de manejo de aguas residuales*. República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación.

[16] FLORES, Teófilo Donaires. Evaluación y determinación de los parámetros de diseño de las Lagunas de Estabilización en zonas del altiplano peruano a mayores de 3800 msnm. (Mayo de 2005). CEPIS. Puno, C.U.

[17] ROMERO CRISTALES, Manlia Alicia del Rosario. XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental “superación sanitaria y ambiental: el reto”. AIDIS: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -Capitulo

Honduras. (Diciembre 2011). Recuperado en enero 2012.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia27.pdf>

[18] TAPIA, Javier. Humedales una alternativa de tratamiento para la ciudad de Tlapa.

Recuperado en enero 2012. <http://www.docstoc.com/docs/22267820/PLANTAS-DE->

TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES-LOS-HUMEDALES-UNA-ALTERNATIVA-

PARA-EL

[19] SENDAS/UNELA .Formato y estilo de trabajos escritos (APA). Seminario Nazareno

de las Américas. San José, Costa Rica. (julio de 2009).

[20] RUIZ, Blanca Eulindany. Manual de operación y Mantenimiento de la Planta de

tratamiento de aguas residuales de El Peñol Antioquia. (Noviembre de 2006). Documento

que reposa en: Aguas y Aseo de El Peñol ESP.

[21] MORENO, Alix. Planta de tratamiento de aguas residuales de Maní-Casanare.

(Marzo 2006). Recuperado en enero 2012.

[22] VILLEGAS GALLÓN, Margarita María. Vidal Tordecilla, Elda Esther. Gestión de los

procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en

Colombia. 1983-2009. Trabajo de monografía para optar al título de especialista en

Gestión ambiental. Universidad de Antioquia.

[23] HRUDEY SE, Hrydey Ej. *Safe Drinking Water: lessons from recent outbreaks in*

affluent. London: International. Water Association Publishing, 2004.

[24] COLLAZOS, Carlos. Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Julio. 2008. Recuperado en marzo de 2013 en http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/Salud,%20Calidad%20y%20Tratamiento%20de%20AR/AGUASRESIDUALES.pdf.

[25] XXVII Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. San Salvador, El Salvador (diciembre de 2011) Recuperado en junio 2013 en <http://www.aidis.org.br/PDF/AIDIS-XXVII%20CONGRESO-CA-INFORMACION-v10.pdf>

[26] Antecedentes del tratamiento de aguas residuales. Características de las aguas residuales, capítulo 2. Recuperado en julio de 2013 en http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO2.pdf

[27] TORRES – BAEZ NOGUERA J. Tratamiento Basico de aguas residuales. Editorial Reverte. España, 1992.

[28] CRITES – TCHOBANOGLUS. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw Hill. Colombia, Bogota, 2000.

[29] APHA – AWWA – WPCF. Metodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales. Editorial Diaz de Santos. Madrid, España, 1992

[30] METCALF – EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw Hill. Mexico, 1996. Volumen 1

[31] PEÑA Luis Eduardo; Muñoz Maryluz; Espinosa Aura Maria. Tratamiento de aguas residuales municipales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. Con – ciencias. 2001. [www. Tecnura.Udistrital.edu.co](http://www.Tecnura.Udistrital.edu.co)

[32] QUINTERO ANGEL, Alejandro. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Tebaida – Quindío. 2007. Tesis facultad de ingeniería. Universidad Nacional, sede Manizales. [www. bdigital.unal.edu.co](http://www.bdigital.unal.edu.co)

[33] CARVAJAL, Elsa. Esparragoza, Rafael. Análisis de la normatividad ambiental Colombiana para el vertimiento de aguas residuales al sistema de alcantarillado público. Escuela de ingeniería ambiental. Floridablanca. 2008. [www. repository. Upb.edu.co](http://www.repository.Upb.edu.co)