

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

Informe del Proyecto de Graduación  
para obtener el grado de Licenciado  
en Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE PROCESOS OPERATIVOS EN**  
**SISTEMAS ANAEROBIOS PARA EL TRATAMIENTO**  
**DE AGUAS RESIDUALES**

Preparado por:

**Kenneth Lobo Méndez**

Agosto, 2005

Lobo Méndez, Kenneth

**Evaluación de procesos operativos en sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales**

Proyecto de Graduación - Ingeniería Civil - San José, C.R.:

**K. Lobo M., 2005**

214h: ils. - 32 refs

**Resumen**

Se propone elaborar un manual de operación y mantenimiento para sistemas anaerobios de aguas residuales domésticas, específicamente reactores anaerobios; con base en la evaluación de cuatro plantas de tratamiento.

La evaluación de cada sistema, se realizó considerando la operación, el rango de los parámetros de control y la eficiencia del sistema. Para esto, se realizaron varias visitas a cada planta, en donde se recolectó muestras de agua, para realizar pruebas de laboratorio y se realizaron entrevistas a los operarios, para describir la operación del sistema. A partir de los procesos operativos y de los lineamientos teóricos existentes para la operación de sistemas de éste tipo, se identificaron los procesos más importantes que se deben seguir, así como los que se están llevando a cabo en forma incorrecta.

Los resultados obtenidos indican que los sistemas de tratamiento con reactores anaerobios, son una alternativa ambiental y económicamente factible; sin embargo, requieren de una operación adecuada y un mantenimiento continuo. Con respecto a las plantas evaluadas, la eficiencia global registrada en cada sistema fue proporcional al control y la operación del mismo, conforme mejora la operación del sistema se incrementa la eficiencia. Además, con base en los resultados, se elaboró el manual operacional para este tipo de plantas. K.L.M.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO; REACTORES ANAEROBIOS; EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO; MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga, M.Sc.

Escuela de Ingeniería Civil

## **Dedicatoria**

---

*Este trabajo se lo dedico a **Dios**, por haberme brindado tantas bondades y oportunidades en la vida; y a mis padres **Tobías Lobo Zúñiga** y **María del Rosario Méndez Rodríguez**, por ser una guía tan importante siempre.*

## **Agradecimientos**

---

*Nuevamente a mis padres, por su desinteresado esfuerzo, trabajo y dedicación. A mi hermano Diego y mis hermanas Karolyn y Verónica, por todo su apoyo.*

*Al tribunal asesor, por sus valiosos aportes y consejos en el desarrollo del trabajo. Especialmente a la Ing. Ana Lorena A., por estar presente en cada paso del proyecto.*

*Al Ing. Alejandro Mesén c.c. Chispero, por estar presente desde ya hace muchos años y haberme acompañado y ayudado en muchas etapas de mi carrera y de mi vida. A Cristian Mesén c.c. Gordo y a Andrés Villalobos c.c. Peineta, por todo el tiempo que vivimos juntos y todas las cosas que aprendimos. A ustedes tres, gracias viejos.*

*A Francisco García c.c. Chico, por todos los momentos tan difíciles que pasamos en la elaboración de la tesis y el apoyo que me dio, desde el principio hasta el final.*

*A mis grandes amigos Ángelo y Diego, por todo el apoyo que me han brindado siempre.*

*A Alejandra, por el aliento, la ayuda y apoyo que me brindo durante todo el trabajo.*

*A mis compañeros y amigos más cercanos: Sergio, Graciela, Ricardo, Gladis y Chico. Por trabajar juntos y salir adelante en los últimos años de carrera.*

*A todas las personas de ProDUS, que me enseñaron tantas cosas y principalmente a Nidia por toda su ayuda.*

*Al sistema de becas de la Universidad de Costa Rica, por haberme dado la ayuda necesaria para realizar mis estudios.*

*A todos mis amigos y a cada persona que de una u otra forma hicieron posible este trabajo.*

*¡Muchas Gracias!*

## **Comité Asesor**

---

Directora: Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga, M.Sc.

Asesora: Ing. Irene Campos Gómez, M.Sc.

Asesor: Ing. Luis Zamora González

## ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>2</b>
1.1.1 El problema específico	2
1.1.2 Importancia	5
<b>1.2 OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
<b>1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 2: AGUAS RESIDUALES</b>	<b>11</b>
<b>2.1 GENERALIDADES</b>	<b>12</b>
2.1.1 Aguas residuales domésticas	12
2.1.2 Aguas residuales industriales	12
<b>2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS</b>	<b>13</b>
2.2.1 Características físicas	13
2.2.1.1 Temperatura	13
2.2.1.2 Sólidos	13
2.2.1.3 Color	14
2.2.1.4 Olor	14
2.2.2 Características químicas	15
2.2.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno	15
2.2.2.2 Demanda química de oxígeno	16
2.2.2.3 Ácidos grasos volátiles	16
2.2.2.4 Grasas y aceites	16
2.2.2.5 pH	17
2.2.2.6 Alcalinidad	17
2.2.2.7 Oxígeno disuelto	17
2.2.3 Características biológicas	18
<b>2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS</b>	<b>19</b>
2.3.1 Tratamiento primario	19
2.3.2 Tratamiento secundario	20
2.3.3 Tratamiento terciario	21
<b>2.4 LEGISLACIÓN NACIONAL</b>	<b>22</b>
2.4.1 Sobre la aprobación y operación de los sistemas	22
2.4.2 Sobre el vertido de aguas	23
<b>CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO</b>	<b>26</b>
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	<b>27</b>
<b>3.2 SISTEMAS ANAEROBIOS</b>	<b>28</b>
<b>3.3 REACTORES ANAEROBIOS</b>	<b>31</b>
3.3.1 Generalidades	31
3.3.2 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	31
3.3.3 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	34
<b>3.4 PROCESOS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA</b>	<b>36</b>

3.4.1	Hidrólisis	37
3.4.2	Acidogénesis	38
3.4.3	Acetogénesis	38
3.4.4	Metanogénesis	39
<b>CAPÍTULO 4: CONSIDERACIONES TEÓRICAS DE LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS</b>		<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>ARRANQUE DEL SISTEMA</b>	<b>42</b>
4.1.1	Consideraciones importantes para el arranque	43
4.1.1.1	Volumen de inóculo para el arranque del proceso	43
4.1.1.2	Carga hidráulica volumétrica	43
4.1.1.3	Climatización de la biomasa	44
4.1.2	Procedimientos antes del Arranque del Sistema	44
4.1.3	Procedimientos durante el Arranque del Sistema	45
4.1.3.1	Inoculación del reactor	45
4.1.3.2	Alimentación del reactor	45
4.1.3.3	Monitoreo del proceso de tratamiento	46
<b>4.2</b>	<b>OPERACIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>47</b>
4.2.1	Monitoreo del Sistema	47
4.2.1.1	Temperatura	48
4.2.1.2	pH	48
4.2.1.3	Sólidos totales	49
4.2.1.4	Alcalinidad	49
4.2.1.5	Ácidos grasos volátiles	49
4.2.1.6	Relación Ácidos grasos volátiles y Alcalinidad	50
4.2.1.7	Producción de biogás	51
4.2.1.8	Nitrógeno amoniacal	51
4.2.1.9	Sulfuros	51
4.2.1.10	DBO y DQO	52
4.2.2	Acumulación de sólidos	54
4.2.3	Prevención de malos olores	55
<b>4.3</b>	<b>CORRECCIÓN DE PROBLEMAS</b>	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA</b>		<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>METODOLOGÍA GENERAL</b>	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>METODOLOGÍA ESPECÍFICA</b>	<b>61</b>
5.2.1	Plantas evaluadas	61
5.2.2	Muestras	62
5.2.3	Pruebas de laboratorio	65
5.2.4	Entrevistas	67
<b>CAPÍTULO 6: PLANTAS EVALUADAS</b>		<b>71</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>72</b>
<b>6.2</b>	<b>PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA</b>	<b>74</b>
6.2.1	Ubicación general	74
6.2.2	Descripción de la urbanización	74
6.2.3	Descripción de la planta de tratamiento	75
6.2.3.1	Cámara de entrada con rejillas	77
6.2.3.2	Trampa de grasas	78

6.2.3.3	Caja de distribución	78
6.2.3.4	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	79
6.2.3.5	Digestor secundario	80
6.2.3.6	Biofiltro de acabado	80
6.2.3.7	Sedimentador simple	81
6.2.3.8	Lecho de secado	82
<b>6.3</b>	<b>PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT</b>	<b>83</b>
6.3.1	Ubicación general	83
6.3.2	Descripción de la urbanización	84
6.3.3	Descripción de la planta de tratamiento	85
6.3.3.1	Cámara de entrada	87
6.3.3.2	Sedimentador primario	88
6.3.3.3	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	88
6.3.3.4	Biodigestor	89
6.3.3.5	Lecho de secado	89
<b>6.4</b>	<b>PLANTA DE CIUDAD DE ORO</b>	<b>90</b>
6.4.1	Ubicación general	90
6.4.2	Descripción de la urbanización	91
6.4.3	Descripción de la planta de tratamiento	91
6.4.3.1	Cámara de entrada con rejillas	93
6.4.3.2	Caja de distribución	93
6.4.3.3	Tanque sedimentador	94
6.4.3.4	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	94
6.4.3.5	Biodigestor	95
6.4.3.6	Lecho de secado	95
<b>6.5</b>	<b>PLANTA DE VILLAS DEL SOL</b>	<b>96</b>
6.5.1	Ubicación general	96
6.5.2	Descripción de la urbanización	97
6.5.3	Descripción de la planta de tratamiento	97
6.5.3.1	Caja de distribución	99
6.5.3.2	Sedimentador primario	100
6.5.3.3	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	100
6.5.3.4	Clorador	101
6.5.3.5	Lecho de secado	101
<b>CAPÍTULO 7: OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO</b>		<b>102</b>
<b>7.1</b>	<b>PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA</b>	<b>103</b>
7.1.1	Aspectos generales sobre el operario	103
7.1.2	Operación del sistema	104
7.1.2.1	Aspectos positivos	104
7.1.2.2	Aspectos negativos	105
7.1.3	Pruebas de laboratorio	106
7.1.3.1	Parámetros de control	106
7.1.3.2	Parámetros para la eficiencia	107
7.1.3.3	Parámetros de reportes operacionales	109
<b>7.2</b>	<b>PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT</b>	<b>110</b>
7.2.1	Aspectos generales sobre el operario	110
7.2.2	Operación del sistema	110
7.2.2.1	Aspectos positivos	110
7.2.2.2	Aspectos negativos	111
7.2.3	Pruebas de laboratorio	112



7.2.3.1	Parámetros de control _____	112
7.2.3.2	Parámetros para la eficiencia _____	113
7.2.3.3	Parámetros de reportes operacionales _____	115
<b>7.3</b>	<b>PLANTA DE CIUDAD DE ORO _____</b>	<b>116</b>
7.3.1	Aspectos generales sobre el operario _____	116
7.3.2	Operación del sistema _____	116
7.3.2.1	Aspectos positivos _____	116
7.3.2.2	Aspectos negativos _____	118
7.3.3	Pruebas de laboratorio _____	118
7.3.3.1	Parámetros de control _____	118
7.3.3.2	Parámetros para la eficiencia _____	119
7.3.3.3	Parámetros de reportes operacionales _____	121
<b>7.4</b>	<b>PLANTA DE VILLAS DEL SOL _____</b>	<b>123</b>
7.4.1	Aspectos generales sobre el operario _____	123
7.4.2	Operación del sistema _____	123
7.4.2.1	Aspectos positivos _____	123
7.4.2.2	Aspectos negativos _____	124
7.4.3	Pruebas de laboratorio _____	125
7.4.3.1	Parámetros de control _____	125
7.4.3.2	Parámetros para la eficiencia _____	126
7.4.3.3	Parámetros de reportes operacionales _____	127
<b>CAPÍTULO 8: EVALUACIÓN DEL SISTEMA _____</b>		<b>129</b>
<b>8.1</b>	<b>PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA _____</b>	<b>130</b>
<b>8.2</b>	<b>PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT _____</b>	<b>132</b>
<b>8.3</b>	<b>PLANTA DE CIUDAD DE ORO _____</b>	<b>134</b>
<b>8.4</b>	<b>PLANTA DE VILLAS DEL SOL _____</b>	<b>136</b>
<b>8.5</b>	<b>OPERACIÓN DEL SISTEMA _____</b>	<b>137</b>
8.5.1	Aspectos positivos _____	138
8.5.2	Aspectos negativos _____	138
<b>8.6</b>	<b>COSTOS DE OPERACIÓN _____</b>	<b>139</b>
<b>CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____</b>		<b>141</b>
<b>9.1</b>	<b>CONCLUSIONES _____</b>	<b>142</b>
	Sobre los sistemas de tratamiento _____	142
	Sobre las plantas evaluadas _____	143
	Sobre la operación de los sistemas de tratamiento _____	145
<b>9.2</b>	<b>RECOMENDACIONES _____</b>	<b>147</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>		<b>150</b>
<b>ANEXOS _____</b>		<b>155</b>
<b>Anexo A: MANUAL OPERACIONAL _____</b>		<b>156</b>
<b>A.1</b>	<b>DEFINICIONES _____</b>	<b>157</b>
A.1.1.1	Caudal _____	157

A.1.1.2	Temperatura _____	157
A.1.1.3	pH _____	158
A.1.1.4	Alcalinidad _____	159
A.1.1.5	Ácidos grasos volátiles _____	159
A.1.1.6	Relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad _____	160
A.1.1.7	Grasas y aceites _____	161
A.1.1.8	Sólidos _____	161
A.1.1.9	DBO y DQO _____	162
A.1.1.10	Producción de gas _____	162
<b>A.2</b>	<b>EQUIPO _____</b>	<b>162</b>
<b>A.3</b>	<b>PERSONAL _____</b>	<b>164</b>
<b>A.4</b>	<b>CAPACITACIÓN _____</b>	<b>165</b>
A.4.1	Descripción del proceso de producción de las aguas residuales _____	166
A.4.2	Procesos de tratamiento _____	166
A.4.3	Operación y mantenimiento _____	166
<b>A.5</b>	<b>LABORES DE MANTENIMIENTO _____</b>	<b>167</b>
A.5.1	Cámara de entrada _____	167
A.5.2	Rejillas _____	167
A.5.3	Trampa de grasas _____	167
A.5.4	Sedimentador primario _____	168
A.5.5	Reactor Anaerobio _____	169
A.5.5.1	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) _____	169
A.5.5.2	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) _____	170
A.5.6	Quemadores de gas y campanolas _____	171
A.5.7	Biodigestor _____	172
A.5.8	Lecho de secado _____	172
A.5.9	Instalaciones _____	173
<b>A.6</b>	<b>LABORES DE OPERACIÓN _____</b>	<b>174</b>
A.6.1	Mediciones de campo _____	174
A.6.1.1	Caudal _____	174
A.6.1.2	Temperatura _____	174
A.6.1.3	pH _____	174
A.6.1.4	Sólidos sedimentables _____	174
A.6.2	Programa de monitoreo de rutina _____	175
<b>A.7</b>	<b>RESUMEN DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO _____</b>	<b>177</b>
<b>A.8</b>	<b>CORRECCIÓN DE PROBLEMAS _____</b>	<b>178</b>
<b>A.9</b>	<b>SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL _____</b>	<b>180</b>
<b>A.10</b>	<b>REPORTE OPERACIONAL _____</b>	<b>181</b>
A.10.1	Esquema de un reporte operacional _____	183
<b>Anexo B:</b>	<b>INFORMES DE CAMPO Y LABORATORIO _____</b>	<b>185</b>
<b>Anexo C:</b>	<b>ENTREVISTAS _____</b>	<b>206</b>

## **Simbolismo**

---

**AGV:** Ácidos grasos volátiles

**AGV/Alc.:** Relación ácidos grasos volátiles alcalinidad

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**GAM:** Gran Área Metropolitana

**ICAA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

**INA:** Instituto Nacional de Aprendizaje

**MINSA:** Ministerio de Salud

**pH:** Potencial hidrógeno

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

## Glosario

---

**Caudal:** Relación del volumen de un agua por unidad de tiempo.

**Cuerpo receptor:** Es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.

**GAM:** Es el área comprendida por los siguientes cantones: Alajuela, Alajuelita, Alvarado, Aserrí, Atenas, Barva, Belén, Cartago Central, Curridabat, Desamparados, El Guarco, Escazú, Flores, Goicoechea, Heredia, La Unión, Montes de Oca, Mora, Moravia, Oreamuno, Paraíso, Poás, San Isidro, San José, San Pablo, San Rafael, Santa Ana, Santa Bárbara, Santo Domingo, Tibás y Vázquez de Coronado.

**Muestreo simple:** Es aquella muestra tomada en forma única y aislada para determinar la calidad del agua en un momento y lugar determinado.

**Muestreo compuesto:** Dos o más muestras simples que se mezclan en proporciones conocidas y apropiadas en el mismo sitio de muestreo en distintos periodos de tiempo. El objetivo es obtener las concentraciones promedio de sus parámetros de calidad. Las proporciones se basan en mediciones de tiempo o de flujo.

**Operario:** Persona encargada de las labores de operación y mantenimiento del sistema.

**Reporte operacional:** Es un reporte sobre el funcionamiento del sistema, en donde se indican datos sobre la planta, aforos, análisis de laboratorio, accidentes, situaciones anómalas y acciones correctivas.

**Sistema de tratamiento:** Es la combinación de procesos y de operaciones de tipo físico, químico y biológico destinados a eliminar el residuo sólido, la materia orgánica, los microorganismos patógenos y, en ocasiones, los elementos nutritivos contenidos en el agua residual.

**CAPÍTULO 1:**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

### **1.1.1 El problema específico**

Uno de los principales problemas que se presentan actualmente en los sistemas de tratamiento de Costa Rica, específicamente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de tipo ordinario, corresponde a las deficiencias en los procesos de operación y mantenimiento. Este problema agrava la contaminación acelerada de los cuerpos de agua en todo el territorio nacional.

La contaminación del recurso hídrico es uno de los problemas de mayor incidencia negativa en el entorno ambiental. Esto favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica, reduce el número de fuentes de agua disponibles, eleva los costos para el abastecimiento de agua potable y pone en peligro de extinción a muchas especies de flora y fauna.

El vertido de aguas residuales, sin tratamiento adecuado, puede causar graves impactos ambientales. De esta forma se acelera la degradación del medio ambiente. En el siguiente cuadro, se muestran los contaminantes que por lo general están presentes en las aguas residuales ordinarias y su respectivo impacto al medio ambiente.

**Cuadro 1-1:** Contaminantes en las aguas residuales que pueden causar impactos ambientales.

Contaminante	Impacto ambiental
Sólidos suspendidos	Puede producir acumulación de lodos y condiciones anaerobias cuando son vertidos a los cuerpos de agua.
Compuestos orgánicos biodegradables	Consumen el oxígeno disuelto del cuerpo receptor y pueden provocar condiciones anaerobias y en consecuencia, malos olores.
Patógenos	Transmiten enfermedades. El riesgo está cuando se utiliza el agua para riego u otras actividades.
Nutrientes (Fósforo y Nitrógeno)	Son esenciales para la vida acuática, pero en exceso pueden estimular el crecimiento desmedido de algas. A este fenómeno se le conoce como <i>Eutroficación</i> .
Compuestos orgánicos refractarios	Son resistentes a los tratamientos convencionales. En este grupo se encuentran detergentes, fenoles y pesticidas. Este tipo de compuestos afectan de forma directa a los cuerpos de agua.

**Fuente:** Adaptado de Vindas, K., 2001.

Los contaminantes presentes en el cuadro 1-1 se encuentran, generalmente, en pequeñas cantidades en las aguas residuales tratadas y en mayor medida en las aguas residuales con tratamientos deficientes o sin él.

Los resultados de una mala operación de las PTAR, se presentan de dos formas distintas en el funcionamiento de los sistemas. La primera se da a nivel local, en la misma planta de tratamiento. Consiste en una baja calidad del agua a la salida del sistema, la cual es vertida a los cuerpos de agua. En la mayoría de los casos, la contaminación presente en el agua está por encima de los límites establecidos en la legislación nacional.

El segundo resultado, se da a un nivel más general y por ello es más grave. Consiste en una disminución de la funcionalidad total de las PTAR que conlleva a un paulatino abandono de los sistemas, en muchos casos se llega al grado de abandonar la planta por completo. Se convierte así, en un sistema de paso directo para las aguas residuales, en donde el agua sin tratar es vertida directamente al cuerpo receptor.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA) en coordinación con la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó, en octubre del año 2003, un estudio sobre la situación del tratamiento de las aguas residuales en todo el país, así como el tipo de tecnología utilizada. Esta investigación pone en evidencia datos muy importantes sobre la situación de las plantas de tratamiento en el país.

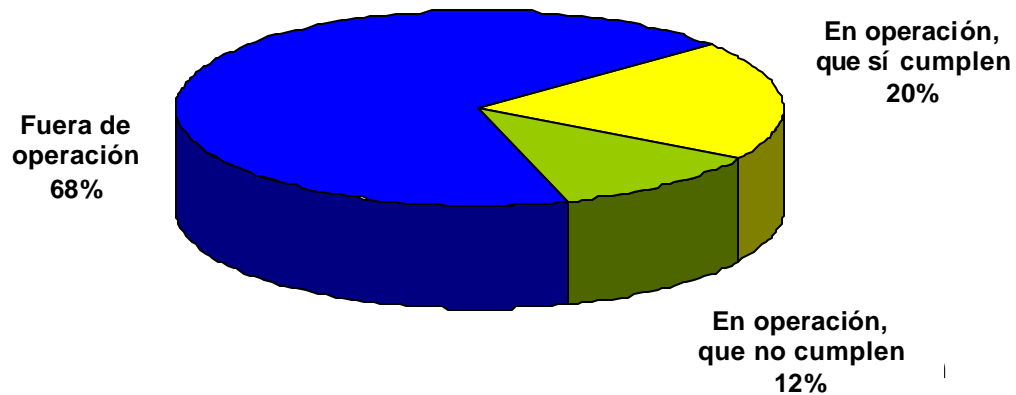
Según esta investigación, existen en el país 51<sup>1</sup> PTAR construidas en urbanizaciones. La mayor parte de las plantas construidas, se encuentran ubicadas en las provincias de San José y Alajuela, con 23 y 12 plantas respectivamente. Con una menor cantidad las provincias de Cartago con 8, Heredia con 5 y Limón con 3; mientras que en Guanacaste y Puntarenas no se encontraron registros de plantas construidas en urbanizaciones. Del total de estas 51 plantas se determinó que únicamente 16 se encuentran en operación y que sólo alrededor de unas 10 cumplen con los límites permisibles establecidos en el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*<sup>2</sup>. Esta información se representa gráficamente en la figura 1-1. A partir de esta figura, se percibe de mejor forma la magnitud del problema.

---

<sup>1</sup> Estudio sobre la situación de la tecnología de tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinario en Costa Rica.

<sup>2</sup> En el capítulo dos se indican cuales son los parámetros que regula el reglamento, así como los límites máximos permitidos .





**Figura 1-1.** Porcentaje de plantas de tratamiento en urbanizaciones que se encuentran fuera de operación y en operación, que cumplen o no con el reglamento nacional.

No se conoce realmente como están operando actualmente estas plantas de tratamiento en el país. De las que funcionan, muchas pueden estar siguiendo los lineamientos de operación correctos, pero no se han realizado estudios para comprobarlo y de igual forma puede haber algunas que no los sigan. Entes reguladores, como lo son el Ministerio de Salud (MINSA) y el ICAA, se encargan de velar por el resultado final del proceso y así las aguas tratadas cumplan la normativa nacional. Sin embargo, no se tiene un eficiente control sobre los procesos operativos de las plantas. Nadie sabe a ciencia cierta como trabaja cada una de éstas.

### 1.1.2 Importancia

En el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales* se expone, mediante la siguiente frase, la importancia de realizar esfuerzos con el fin de mejorar el tratamiento que se le da a las aguas residuales en el país: ***“Proteger el recurso hídrico es proteger la salud del hombre y la vida sobre la Tierra, y es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país. Para una mejor calidad de vida de las futuras generaciones debemos proteger las aguas nacionales y reducir los altos índices de contaminación”***. Esta motivación corresponde a una parte de las consideraciones que se tomaron en cuenta para

la realización del reglamento y a la vez da pie a la ejecución de proyectos en esta área que den aportes significativos para entender y mejorar los sistemas de tratamiento de aguas actuales.

Paralelamente, se pone de manifiesto la gran importancia de proteger el agua. Esto se puede lograr de muchas formas. Una de ellas, consiste en realizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales, con el objetivo de que sean vertidas con los niveles más bajos de contaminación posibles. Sin embargo, esto no se consigue en muchas ocasiones y el problema fundamental, como se citó anteriormente, es que las plantas no están siendo operadas adecuadamente.

La importancia de este proyecto, radica esencialmente en crear una herramienta que permita a los administradores y operarios de los sistemas de tratamiento, específicamente de **reactores anaerobios**, conocer e implementar técnicas de operación y mantenimiento adecuadas. Esto, con el fin de contribuir a que el sistema alcance el máximo aprovechamiento posible para lo que fue diseñado y por consiguiente, se minimice los impactos que puedan producir las aguas vertidas. Al mismo tiempo, con la realización del manual de operación y mantenimiento se especifican cuales son las buenas prácticas que se deben seguir en este tipo de procesos de tratamiento y se recopilan los lineamientos básicos por seguir para cumplir con las normas ambientales e incluso poder alargar la vida útil de las plantas construidas.

A partir de la evaluación realizada en algunos sistemas, que sirvieron como ejemplo para diagnosticar la situación actual de las plantas, y con base en bibliografía relacionada con el mantenimiento y operación de este tipo de tratamientos, se genera información clave que ayuda a los encargados a evaluar por sí mismos su PTAR y a realizar las modificaciones necesarias que permitan optimizar el proceso. Se presenta una descripción detallada de cada unidad en los sistemas que permite conocer sus características y su función, así como ofrecer detalles sobre la operación de cada sistema. Aunque el trabajo se centra particularmente en los procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales domésticas, muchas de las bases del funcionamiento de los sistemas que se explica es este proyecto y la metodología de evaluación planteada representan aportes importantes para la realización de futuros proyectos en el campo de saneamiento ambiental.

En resumen, se puede decir que gran parte de la importancia del proyecto consiste en la elaboración de un manual para el proceso operativo de plantas de tratamiento con reactores anaerobios. Con base en este manual, cada uno de los encargados de plantas de tratamiento con estas características puede revisar los procesos operativos de la planta y hacer los cambios y correcciones que ameriten. También, en caso de que se pretenda construir una planta de este tipo, se puede prever desde la etapa de diseño las consideraciones pertinentes respecto a operación y de esta forma, realizar los cambios necesarios en el sistema.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar los procesos operativos de plantas de tratamiento de aguas residuales, específicamente reactores anaerobios, para estandarizar procesos de operación y mantenimiento.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Visitar cuatro plantas de tratamiento con reactores anaerobios que posean características similares.
- Realizar una caracterización del sistema y de los procesos operativos de cada planta de tratamiento.
- Evaluar los procesos operativos de cada una de las plantas de tratamiento en función de la eficiencia del sistema y la calidad del agua del efluente.
- Identificar los procesos operativos más importantes que se deben seguir, así como determinar cuáles procesos se están llevando a cabo en forma incorrecta.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento para plantas de tratamiento con reactores anaerobios.

### **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

En el presente proyecto, se evalúan los procesos operativos de cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales que operan con reactores anaerobios, con el fin de determinar si operan de forma correcta o si existe alguna anomalía o error en este proceso. Estas plantas sirven como ejemplos del funcionamiento de este tipo de tratamientos en la Gran Área Metropolitana (GAM<sup>3</sup>). No se pretende decir que son suficientes para establecer un muestreo estadístico de las mismas, o decir con base en sólo estos casos que la totalidad de las plantas presentan situaciones similares; pero, sí son el punto de partida para determinar fallos comunes y tomar en cuenta dentro del análisis de este proyecto situaciones reales.

El área de estudio en el cual se circunscribe este proyecto corresponde a la GAM. Las plantas de tratamiento que se evaluaron se encuentran dentro de este sector. Sin embargo, la metodología de evaluación y el manual de operación y mantenimiento realizado, se puede extender a cualquier planta de tratamiento con reactores anaerobios del país, siempre y cuando se analicen las particularidades que se pueden presentar por diferencias de clima o de composición en las aguas de entrada a la planta. No se consideraron plantas de tratamiento fuera de la GAM, debido a que la evaluación del proceso operativo requiere de varias visitas al lugar, por lo que una planta que se encuentre muy alejada dificulta este proceso.

Las cuatro plantas de tratamiento tienen características similares. El número de plantas de tratamiento evaluadas está en función de la disponibilidad por parte de los encargados y que las mismas cumplan con las condiciones para ser evaluadas. Es sabido que en el país existen muchas plantas de tratamiento de aguas residuales con estas características; sin embargo, se considera que con la evaluación de cuatro plantas se pueda determinar los errores durante el proceso operativo más comunes, así como los procedimientos correctos aplicables a todo tipo de plantas de tratamiento de este tipo. Para complementar esta información de campo se realizó la investigación bibliográfica que permitió tener el bagaje de conocimientos necesarios para poder juzgar si las

---

<sup>3</sup> Los cantones que componen la GAM se citan en el glosario.

prácticas observadas eran las más adecuadas o no. Con base en esto, se elabora el manual operacional el cual permite corregir estos errores, con el fin de que sea tomado en consideración en todas las plantas de tratamiento con reactores anaerobios que se construyan en el país.

Los análisis necesarios para la evaluación de las plantas de tratamiento se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. En el caso de pruebas que se realizaron fuera de este laboratorio, se buscó uno privado que tuviera las pruebas acreditadas. Además, se utilizaron dentro del estudio varios análisis suministrados por la empresa encargada de la operación de dos de las plantas (las ubicadas en Cartago). La cantidad y tipo de pruebas está limitado a la disponibilidad del laboratorio y la capacidad de realizarlas. El tipo y número de pruebas serán descritos posteriormente en la metodología. Los análisis se hicieron de esta forma, ya que las plantas no presentan los reportes operacionales respectivos, lo cual limita su evaluación.

No es posible realizar la prueba de ácidos grasos volátiles, debido a que el Laboratorio de Ingeniería no cuenta con el equipo necesario para llevarla a cabo. Éste parámetro es necesario como parte del control del sistema.

El manual fue redactado bajo los lineamientos indicados en el artículo 29 del *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAE*.

Se pretende que este proyecto contribuya al mejoramiento de los procesos operativos de plantas de tratamiento con reactores anaerobios y al mismo tiempo sirva como ayuda en el diseño y construcción de nuevas plantas.

**CAPÍTULO 2:**  
**AGUAS RESIDUALES**

## **2.1 GENERALIDADES**

Las aguas residuales son básicamente las de abastecimiento de una población o proceso, después de ser contaminadas, mediante diversos usos. Son una mezcla compleja que contiene agua mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes, normalmente es muy pequeña, y se expresa en miligramos por litro de la mezcla (mg/L).

Dependiendo de su procedencia se han clasificado en diferentes tipos, dentro de los cuales se encuentran:

- Aguas residuales domésticas
- Aguas residuales industriales

### **2.1.1 Aguas residuales domésticas**

Son aquellas provenientes de las actividades domésticas, conocidas comúnmente como aguas negras. Incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos, entre otros. Parte de estos residuos, son materia que consume o demanda oxígeno para su oxidación. Estas aguas presentan un alto contenido de material orgánico, así como un alto potencial de contaminación biológica debido a la presencia de agentes patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos, que en parte son los encargados de remover esta materia del agua.

### **2.1.2 Aguas residuales industriales**

Este tipo de aguas residuales incluyen los residuos sanitarios de los empleados, los residuos de procesos propios de la industria y aguas de lavado, entre otros. En este caso, las aguas provenientes de los procesos son las de mayor importancia y las que en ocasiones requieren tratamientos más especializados, pues varían sus características y propiedades dependiendo del tipo de industria.



## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Para realizar una adecuada caracterización de las aguas residuales se debe hacer referencia a los diferentes constituyentes que presentan y a los parámetros con base en los cuales se miden los mismos. Estas características<sup>4</sup> se pueden dividir de acuerdo con su naturaleza en **físicas, químicas o biológicas**.

### **2.2.1 Características físicas**

#### **2.2.1.1 Temperatura**

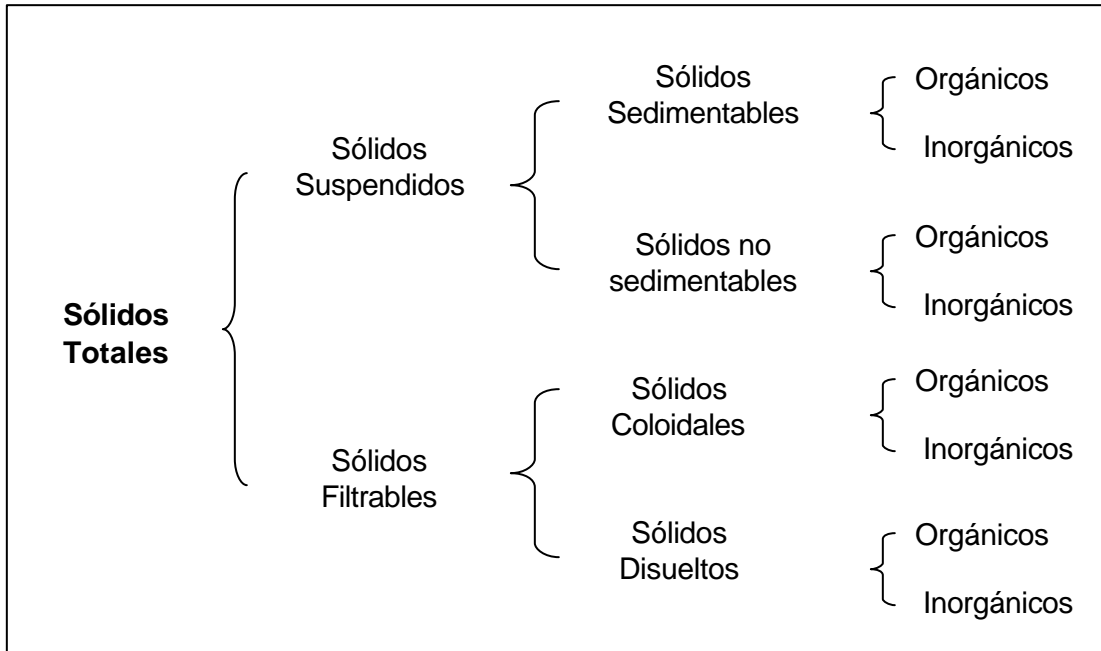
La temperatura depende fundamentalmente del tipo de agua y de las condiciones climáticas presentes en la zona. Es un parámetro de gran importancia para los procesos físicos, químicos y biológicos que se producen en el sistema. La temperatura que tenga el reactor determina la especie bacteriana que pueda desarrollarse dentro. En el caso de la digestión anaerobia, se ha determinado que el rango óptimo de funcionamiento oscila entre los 30 y los 35°C; sin embargo, en el país, el rango de variación es de los 20 a 30°C.

#### **2.2.1.2 Sólidos**

Constituyen la principal característica física de las aguas residuales. Son los residuos que quedan al evaporar el agua. Según su composición, se pueden clasificar en dos grupos generales: sólidos orgánicos e inorgánicos. Además, pueden clasificarse de acuerdo con su condición física en sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. En la figura 2-1 puede observarse claramente la clasificación y distribución de los sólidos presentes en las aguas residuales.

---

<sup>4</sup> Las características son tomadas de los siguientes autores: Bolaños, F. 2004; Carballo, G. Aragón, S. Agüero, P. 2003 y Vindas, K. 2001.



**Figura 2-1:** Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales.

**Fuente:** Bolaños, F. 2004

### 2.2.1.3 *Color*

Funciona principalmente como un indicador de la edad del agua. El agua residual reciente presenta una coloración grisácea, que se va tornando oscura conforme disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

### 2.2.1.4 *Olor*

Es causado por los gases producto de la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Generalmente los malos olores tienen un efecto negativo sobre el medio y los alrededores, disminuye así la calidad de vida de la población cercana.

## 2.2.2 Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales se dividen en dos grandes grupos. El primer grupo es el de las **características orgánicas**. Éstas se emplean para representar la amplia variedad de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Entre las que se ubican la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los ácidos grasos volátiles y las grasas y aceites

El otro grupo es el de las **características inorgánicas**: pH, alcalinidad y oxígeno disuelto. A pesar de que estos parámetros son considerados como inorgánicos, están íntimamente relacionados con los procesos orgánicos presentes en el tratamiento.

A continuación se describe cada uno de estos parámetros:

### 2.2.2.1 *Demanda bioquímica de oxígeno*

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras estabilizan la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aeróbicas. El término *biodegradable* puede ser interpretado como materia orgánica que sirve de alimento a bacterias y como resultado se libera energía en el proceso.

Debido a que se basa en las reacciones bioquímicas que llevan a cabo los microorganismos, se ve afectado por el tiempo, la temperatura, la acción de la luz, el tipo de microorganismo, las sustancias nutritivas y las tóxicas.

La DBO es utilizada para determinar la contaminación de aguas residuales en términos de la cantidad de oxígeno descargado en cuerpos de agua. La prueba es una de las más importantes en el control de la eficiencia de las plantas.

### **2.2.2.2 Demanda química de oxígeno**

Al igual que la DBO, la demanda química de oxígeno (DQO) también es una medida del contenido de materia orgánica presente en el agua residual. Sin embargo, la DQO es aún más amplia, ya que representa el equivalente de oxígeno que se consume para la degradación de la materia orgánica por medio de un agente químico oxidante fuerte, como es el dicromato de potasio ( $\text{Cr}_2\text{K}$ ). La prueba debe ser llevada a cabo a altas temperaturas.

El valor de la DQO es, generalmente, mayor que el la DBO, debido a que un número mayor de compuestos pueden ser oxidados por medios químicos. Para la mayoría de las aguas residuales se pueden establecer correlaciones entre los valores de DBO y DQO, este tipo de correlaciones resultan de gran importancia por el hecho de que la prueba de DQO puede realizarse en tres horas mientras que la prueba de DBO necesita de al menos cinco días para llevarse a cabo. Una vez que la correlación ha sido establecida, los resultados de DQO pueden ser aplicados para el control y operación de plantas de tratamiento.

### **2.2.2.3 Ácidos grasos volátiles**

Los ácidos grasos volátiles son productos intermedios de la digestión anaerobia. Comprenden alrededor de diez compuestos químicos diferentes, aunque los principales compuestos son: **ácido acético**, **ácido propiónico** y **el ácido butírico**. Su determinación es de gran importancia en sistemas de tratamiento anaerobios, ya que la presencia en exceso de estos compuestos puede afectar a las bacterias metanogénicas (sobre éstas se hablará más en detalle en el siguiente capítulo) y en consecuencia la eficiencia del sistema.

### **2.2.2.4 Grasas y aceites**

Su determinación cuantitativa es importante ya que estas sustancias son por lo general insolubles y menos densas que el agua, por lo que eventualmente podrían provocar obstrucciones en los equipos utilizados en el sistema de tratamiento. Este es el único de los parámetros mencionados que representa una medición directa.

### **2.2.2.5      *pH***

El pH es un término utilizado para expresar la condición ácida o básica de una solución. Es una forma de expresar la concentración de iones de hidrógeno. En tratamientos de aguas residuales mediante sistemas anaerobios, el pH debe ser controlado en un rango específico.

Existen en el mercado varios productos químicos que son utilizados para controlar los valores de pH en los procesos anaerobios. Entre estos se encuentran: la cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y el bicarbonato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ). La cal es usualmente uno de los productos más baratos y por lo tanto, uno de los más usados.

### **2.2.2.6      *Alcalinidad***

Es una medida de la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos. Por consiguiente, constituye un medio para evaluar la tratabilidad por medio de métodos biológicos. En los sistemas de tratamiento anaerobios, resulta de gran importancia controlar y registrar este parámetro, ya que está íntimamente relacionado con los ácidos grasos volátiles y el pH del sistema.

### **2.2.2.7      *Oxígeno disuelto***

Todos los gases atmosféricos son solubles en agua. El oxígeno se considera como un gas poco soluble, ya que no reacciona con el agua químicamente. Su solubilidad es directamente proporcional a su presión parcial, y varía con la temperatura.

En aguas residuales, el oxígeno disuelto es el factor que determina cuando los cambios biológicos que llevan a cabo los microorganismos son aerobios o anaerobios. Es además, una medida del nivel de degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

### 2.2.3 Características biológicas

En las aguas residuales se puede encontrar una gran cantidad de organismos vivos, de tamaño microscópico. Estos constituyen la parte viva natural de la materia orgánica presente en las aguas. Desde el punto de vista sanitario, los más importantes son las bacterias y los virus. Estos representan la mayor parte de los agentes patógenos nocivos para la salud humana. Requieren de mucha atención ya que pueden llegar a convertirse en focos de infección.

Las bacterias son el grupo de organismos vivos más numerosos del planeta. Son unicelulares y por lo tanto, de tamaño microscópico. Requieren para subsistir de alimento, oxígeno y agua. Sólo pueden subsistir cuando el medio ambiente provee estas necesidades. Las bacterias se clasifican según la materia que consuman en *parásitas*, que son las que viven a expensas de un huésped y *saprofitas*, que son las que se alimentan de materia orgánica muerta. Además, se pueden clasificar según su morfología y fisiología.

Los virus son partículas que consisten en enzimas y materia nucleica. Estos requieren obligatoriamente de un huésped para multiplicarse. En la mayoría de los casos son patógenos.

Para detectar la presencia de agentes patógenos en el agua, es necesario contar con un indicador que pueda medir cuantitativamente la cantidad de organismos presentes. El indicador más utilizado para la detección son los coliformes fecales. Estos permiten detectar la presencia de organismos patógenos provenientes de materia fecal.

## **2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS**

Debido a las características de las aguas residuales descritas anteriormente y a su efecto de degradación sobre el medio ambiente, surge la necesidad de brindarles un tratamiento adecuado, con el objetivo de mantener un balance entre las actividades del hombre y el medio ambiente.

Existen diferentes tipos de tratamiento para aguas residuales, los cuales pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

A continuación, se presentan las características generales de cada uno de estos tratamientos (Arias, A. 2004).

### **2.3.1 Tratamiento primario**

Consiste en un acondicionamiento preliminar que se le brinda a las aguas residuales a través de procesos físicos, en donde se remueven materiales suspendidos y flotantes. Se utilizan dispositivos destinados a eliminar los sólidos mayores flotantes, sólidos inorgánicos pesados, grasas y aceites, entre otros. Los contaminantes se eliminan en orden de dificultad creciente. Primero, se retienen los trapos, palos y diversos objetos grandes; después, se separa la arenilla mediante sedimentación. El principio básico en este caso es el de disminuir la velocidad del agua de forma que puedan sedimentar los sólidos. Los dispositivos comúnmente utilizados en esta etapa del proceso son:

- Rejas de varas o varillas
- Tamices o mallas
- Desarenadores

Puesto que la mayor fracción contaminante de las aguas residuales corresponde a los sólidos suspendidos de tamaño coloidal y disueltos, los tratamientos primarios no permiten remociones de materia orgánica mayores del 25 al 30%.

### 2.3.2 Tratamiento secundario

Aquí se incluyen los procesos biológicos que se encargan de la remoción de la materia orgánica. Tiene como función principal remover la DBO soluble que escapa a los tratamientos primarios, así como la remoción de la contaminación orgánica presente en forma disuelta.

El principio de este tratamiento se basa en las actividades de los microorganismos. Aquí, las bacterias generadas en el proceso se encargan de sintetizar la materia orgánica compleja en compuestos más simples o material inorgánico estable. Es por esto que al tratamiento secundario se le denomina también tratamiento “**biológico**”.

Los sistemas utilizados en este tipo de tratamiento pueden variar dependiendo de las características del afluente, de la ubicación del sistema y del presupuesto disponible. En general, se utilizan dos diferentes tipos, el tratamiento aerobio y el tratamiento anaerobio. Ocasionalmente y dependiendo de las necesidades, se puede utilizar una combinación de los dos sistemas.

En los tratamientos aerobios la materia orgánica es degradada por microorganismos aerobios, fundamentalmente bacterias. El oxígeno disuelto presente en el agua residual es consumido para estabilizar dicha materia orgánica con una gran producción de energía. En estos sistemas, el crecimiento microbiano es rápido y una gran parte del sustrato se convierte en nuevas células que se separan durante el tratamiento en forma de lodo. Los tratamientos aerobios se pueden dividir en tres grupos:

- **Cultivo fijo:** en este grupo se encuentran los filtros percoladores, biodiscos y reactores de lecho compacto.



- **Cultivo en superficie:** en este grupo se encuentran la digestión aerobia, las lagunas aireadas y los lodos activados. Hay aproximadamente doce modalidades de este último sistema.
- **Combinado:** en los sistemas combinados se utilizan lodos activados y filtros percoladores.

Este tipo de tratamiento, por lo general, no presenta malos olores y es más amigable con el ambiente de una forma estética y funcional. Sin embargo, resultan costosos en cuanto a construcción, operación y mantenimiento.

Los sistemas de tratamiento anaerobios son la otra alternativa. Este tipo de sistemas generan costos menores en su construcción y operación. Se presentan como una opción muy atractiva para el tratamiento de aguas residuales en Costa Rica, ya que ha sido probada en otros países con características similares. Sin embargo, si no son operados adecuadamente se puede perder su funcionalidad. Este tipo de sistemas se describirán de una forma más amplia en el siguiente capítulo.

Las eficiencias obtenidas en la remoción de materia orgánica son mayores en el tratamiento secundario que en el tratamiento primario. Sin embargo, en la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales se debe complementar el tratamiento primario y el secundario, con el objetivo de lograr mayores eficiencias en el sistema con costos menores.

### **2.3.3 Tratamiento terciario**

En el sistema compuesto por tratamiento primario y secundario se remueve de una forma eficiente la materia orgánica. Sin embargo, no se eliminan satisfactoriamente elementos como el nitrógeno, fósforo, metales pesados, hierro, manganeso, color verdadero y agentes patógenos, entre otros. Es por esto que surge la necesidad de un tratamiento específico que se encargue de la remoción de dichos compuestos. Se puede considerar como un tratamiento terciario todos aquellos que no han sido incorporados en la categorías de primarios o secundarios.

Este tipo de tratamientos resultan ser muy específicos y complejos, por lo que representan costos muy elevados. Son utilizados generalmente en industrias y comercios en donde se generan agentes contaminantes como los descritos anteriormente y en cantidades considerables. En el caso de la eliminación de agentes patógenos, se utiliza por lo general sistemas de cloración, los cuales son relativamente más baratos en comparación con otros tipos de tratamientos terciarios.

## **2.4 LEGISLACIÓN NACIONAL**

### **2.4.1 Sobre la aprobación y operación de los sistemas**

La aprobación de sistemas de tratamiento, se regula mediante el decreto N° 31545-S-MINAE *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Se aplica al manejo de las aguas residuales que son vertidas o reutilizadas en cualquier parte del país. En este reglamento, se indican los requisitos de ubicación, construcción y operación de sistemas de tratamiento.

Con respecto a la ubicación de los sistemas, indica que debe ser solicitado ante la Dirección de Protección al Ambiente Humano del MINSA, en el artículo 8 se establece la información necesaria para realizar este trámite. En el artículo 13, se establece el retiro entre el sistema de tratamiento y los linderos de la propiedad. Para el caso específico de **reactores anaerobios**, el retiro mínimo es de 20 m. para reactores abiertos y de 10 m. para reactores cerrados.

Sobre la construcción del sistema, en los artículos 26, 27 y 28 se establece la documentación necesaria y la información mínima que deben tener los planos constructivos.

En el artículo 29, se indica el formato y la información mínima que debe contener el manual de operación y mantenimiento. Éste, debe ser redactado de forma simple y directa, para facilitar su uso por los operadores.

Por último, en el artículo 46 se estipulan las obligaciones del ente generador, en donde destacan las siguientes:

- Contar en todo momento con el personal y equipo requeridos.
- Operar y mantener el sistema en apego al manual aprobado de operación y mantenimiento.
- Mantener un efluente con concentraciones de contaminantes dentro de los límites autorizados.
- Realizar los muestreos y análisis de laboratorio con la frecuencia requerida, y de reportarlos al Ministerio de Salud o a la entidad administradora del alcantarillado sanitario.
- Vigilar que se siga el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Llevar una bitácora donde se anoten todos los detalles de la Operación y Mantenimiento de la planta.
- Cumplir con el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

#### **2.4.2 Sobre el vertido de aguas**

Actualmente, en el país, el vertido de aguas residuales está regido por el decreto N° 26042-S-MINAE de 1997 en donde se establece el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. Su objetivo es el de proteger la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales.

En este reglamento se establecen las normas para el vertido de aguas domésticas e industriales. Se incluyen los parámetros que deben ser evaluados, la frecuencia de los

monitoreos y presentación de reportes operacionales. Además, se incluyen las entidades responsables de velar por el cumplimiento de las normas establecidas.

En el caso de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que vierten en cuerpos de agua receptores. La normativa indica que se deben confeccionar reportes operacionales y presentarse periódicamente ante la División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud. Estos deberán contener como mínimo la siguiente información:

- Registro de aforos
- Registro de análisis de laboratorio
- Registro de accidentes y situaciones anómalas
- Evaluación del estado actual del sistema
- Plan de acciones correctivas

Los parámetros que se deben evaluar para un reporte operacional de una planta de aguas residuales domésticas, así como sus límites establecidos, se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2-1:** Parámetros y límites establecidos en aguas residuales domésticas

Parámetro	Límite máximo establecido
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	50 mg/l.
Potencial hidrógeno (pH)	5 a 9
Temperatura	15 a 40 °C
Grasas y aceites (GyA)	30 mg/l
Sólidos sedimentables (SSed)	1 ml/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	50 mg/l.
Coliformes fecales (CF)	-

**Fuente:** Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales. 1997.

En el caso de coliformes fecales, actualmente el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales* especifica que es obligatoria su detección, únicamente cuando las

aguas residuales son vertidas en cuerpos receptores de agua que son utilizados para actividades recreativas, o si provienen de hospitales o entidades similares.

El reglamento indica que los análisis de aguas residuales deberán practicarse en muestras compuestas. La frecuencia mínima de los muestreo y análisis se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 2-2:** Frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales domésticas

Parámetro	Caudal (m <sup>3</sup> /día)		
	< 50	50 a 100	> 100
pH, sólidos sedimentables y caudal	Mensual	Semanal	Diario
Grasas y aceites DBO <sub>5,20</sub> Sólidos suspendidos totales Coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

**Fuente:** Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales. 1997.

El Ministerio de Salud permite una reducción del 50% en las frecuencias indicadas en el cuadro 2-3, para aquellos entes generadores que acumulan doce reportes operacionales consecutivos que cumplan con todos los requisitos establecidos. Pero, en ningún caso se permiten frecuencias mayores a un año. El incentivo debe ser solicitado por el interesado y se pierde cuando el ente generador presenta un reporte que incumpla en alguna forma lo dispuesto en el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*.

**CAPÍTULO 3:**  
**SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO**

### **3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES**

El tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas es considerado un método biológico efectivo. Se ha llegado a utilizar con gran eficiencia tanto a nivel nacional como internacional.

La alternativa de tecnología de tipo “**anaerobio**” (descomposición en ausencia de aire), nació hace unos 20 años, para el tratamiento de los efluentes industriales. Tiene los mismos fundamentos microbiológicos que las tradicionales “**plantas de biogás**” que utilizan los agricultores para generar biogás con estiércol, pero se adaptó a efluentes diluidos, separando el tiempo de retención del agua residual en los tanques y el de retención de la flora bacteriana. Además, los tiempos de retención del agua residual en los tanques de fermentación se redujeron, en comparación con las tradicionales plantas de biogás (Arias, A. 2004)

Para llevar a cabo la digestión anaerobia, se han propuesto varios procesos con configuraciones diferentes, con el objetivo de optimizar el sistema. Este tipo de configuraciones puede agruparse de acuerdo a la forma en que se encuentra la biomasa en su interior. A partir de esto, se originan tres grandes tipos, reactores con crecimiento celular en suspensión, con biomasa fija y de lecho expandido (Arias, A. 2004).

### 3.2 SISTEMAS ANAEROBIOS

Los sistemas de tratamiento anaerobio se dividen en tres generaciones, de acuerdo a la evolución tecnológica que presenten. En la siguiente figura se identifica la distribución de cada generación.

<b>Sistemas Anaerobios</b>	<b>Primera generación:</b> <i>Biomasa en suspensión</i>		Fosa séptica Tanque Imhoff Laguna anaerobia Digestor convencional Digestor completamente mezclado Contacto anaerobio
	<b>Segunda generación:</b>	<i>Biomasa fija</i>	Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) Reactor tubular de película fija
		<i>Biomasa en suspensión</i>	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)
	<b>Tercera generación :</b> <i>Lecho expandido</i>		Lecho expandido Lecho fluidificado

**Figura 3-1:** Sistemas de tratamiento anaerobios.

**Fuente:** Arias, A. 2004.

Según Arias, A. (2004), los sistemas de primera generación, corresponden a aquellos procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión. Los más primitivos de este tipo son la fosa séptica y los digestores de tipo rural con una alimentación semicontinua. Estos son utilizados para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas y ganaderos. Actualmente, este tipo de sistemas se ha difundido considerablemente a nivel doméstico.

Los de segunda generación, están compuestos por aquellos procesos en donde los microorganismos son retenidos en el reactor, ya sea mediante un soporte formando una película de microorganismos fijos (FAFA), o bien, por medio de la sedimentación de flóculos microbianos con muy buenas características de decantación (RAFA). En estos



sistemas se logran menores tiempos de retención hidráulica, lo que recae en volúmenes de reactores menores. Además, presentan una mayor estabilidad y facilidad en su operación.

Los sistemas de tercera generación son aquellos donde los microorganismos están adheridos en un soporte que se expande o fluidifica. Presentan tiempos de retención relativamente menores, en comparación con los otros sistemas.

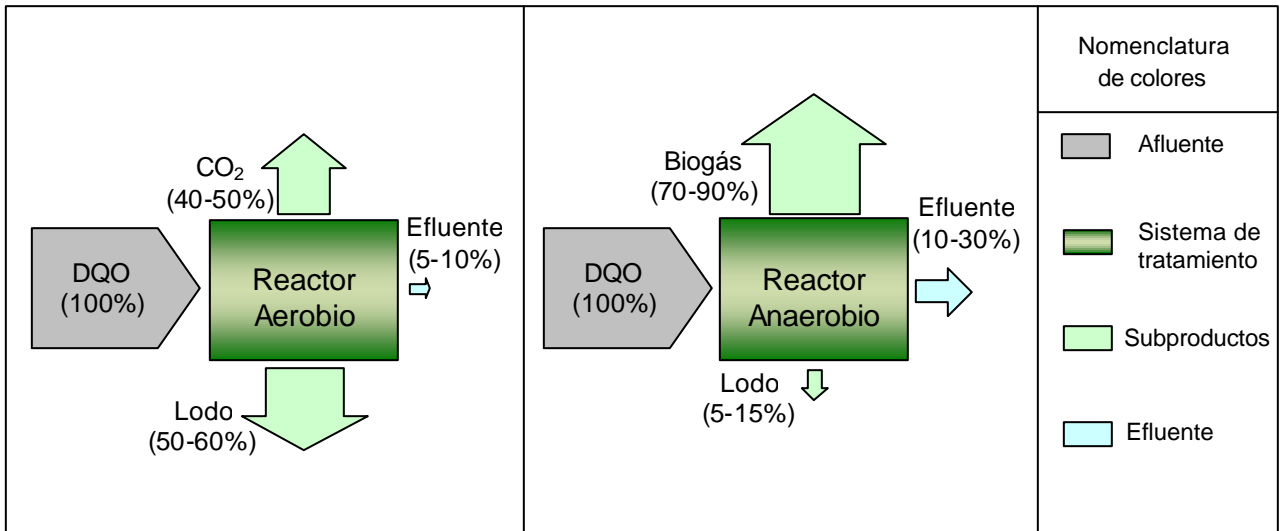
En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento anaerobios respecto a los sistemas aerobios.

**Cuadro 3-1:** Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento anaerobios.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Menor producción de lodo biológico, cerca de 5 a 10 veces inferior a los producidos en los sistemas aerobios.	El arranque del sistema es más lento.
Posibilidad de tratar desechos con alto contenido de materia orgánica. Pueden recibir cargas que fluctúan entre los 10 y 20 kg. DQO / m <sup>3</sup> d.	Las bacterias anaerobias son susceptibles a inhibición por un gran número de compuestos.
Bajo consumo de energía, lo que conlleva a bajos costos de operación.	Adaptación lenta a variaciones en la alimentación.
Posibilidad de preservar la biomasa, sin alimentar el reactor por varios meses.	Productos reducidos en el efluente, por lo que usualmente requieren de algún post-tratamiento.
Se produce metano, un gas que tiene alto valor como combustible. Puede ser utilizado como energía calorífica directamente o transformada a mecánica y eléctrica.	Posibilidad de generar efluentes con mal aspecto, el agua resultante tiene una alta cantidad de amonio.
Aplicación en pequeña y gran escala.	Dificultad en su control.
Bajo consumo de nutrientes.	Posibilidad de generación de malos olores.
El lodo biológico se encuentra en el rango termófilico. Lo que significa que está suficientemente estabilizado como para ser evacuado directamente.	La bioquímica y microbiología son muy complejas, por lo que deben ser más estudiadas.

**Fuente:** Adaptado de Arias, A. 2004; Chernicharo, C. 1997 y Vindas, K. 2001.

En la siguiente figura se puede visualizar, de una forma más clara, algunas ventajas de la digestión anaerobia en relación al tratamiento aerobio, específicamente referidas a la producción de metano y a la baja producción de sólidos.



**Figura 3-2:** Conversión biológica en los sistemas aerobios y anaerobios.  
**Fuente:** Adaptado de Chernicharo, C. 1997.

A partir de la figura 3-2, se tiene que en los sistemas aerobios existe cerca de 40 a 50% de degradación biológica, con una consecuente producción de CO<sub>2</sub>. Se presenta una gran incorporación de la materia orgánica microbiana, alrededor de 50 a 60%, la cual constituye el lodo del sistema. Finalmente, de 5 a 10% restante abandona el sistema como material no degradado.

Mientras que en los sistemas anaerobios, la mayor parte del material orgánico biodegradado se convierte en biogás, alrededor de 70 a 90%, y apenas una pequeña parte del material orgánico, entre el 5 y 15%, es convertido en lodo. Sin embargo, la eficiencia del sistema es menor, esto porque el material no convertido en biogás o lodo es de 10 a 30%.

## 3.3 REACTORES ANAEROBIOS

### 3.3.1 Generalidades

Con el aumento de las investigaciones en el área de tratamiento anaerobio, se han desarrollado los **‘sistemas de alta tasa’**. Estos se caracterizan, básicamente, por su capacidad de retener grandes cantidades de biomasa de elevada actividad, mediante una aplicación de bajos tiempos de retención hidráulica. De esta forma se consigue mantener un elevado tiempo de retención de sólidos con una aplicación de altas cargas hidráulicas en el sistema. Bajo esta clasificación, existe una serie de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, con concentraciones orgánicas elevadas, diseñadas para trabajar en ausencia de oxígeno.

Estos sistemas tienen estructuras para la captación del gas producto de la digestión anaerobia. El gas captado, puede ser utilizado de diversas formas; por ejemplo, para la optimización del proceso mediante un calentamiento del afluente, como fuente adicional de energía en el sistema o simplemente no se le da uso, en este caso es recomendado quemar el gas para evitar los malos olores.

La capacidad de estos sistemas para soportar altas cargas orgánicas, es función de varios factores. Sin embargo, el factor de mayor peso es la posibilidad de mantener una alta concentración de biomasa activa (grupos de bacterias encargadas de la digestión anaerobia) dentro del reactor. Este factor puede ser fácilmente controlado, mediante un diseño adecuado del sistema.

La eficiencia de tratamiento de estos sistemas depende fuertemente de muchos factores, entre ellos están: pH, temperatura, componentes del agua a tratar, concentración de materia orgánica y su variación en el tiempo, entre otros (Arias, A. 2004)

Dentro de este tipo de sistemas se encuentran una gran variedad de reactores, con características definidas. Sin embargo, en este caso se detallará en el funcionamiento de dos sistemas en específico: **Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente y Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente**.

### 3.3.2 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), se originó en los años 80 en Holanda por Gatzte Lettinga. Es ampliamente conocido por sus siglas en inglés UASB (Upstream Anaerobic Sludge Bed). Además, es uno de los más aplicados a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales. El sistema tiene como característica el bajo costo económico en su construcción, operación y mantenimiento. Se consideran como sistemas simples, que pueden ser modulados fácilmente y como todos los reactores, pueden soportar altas cargas de contaminación orgánica.

Son considerados como sistemas con crecimiento bacteriano disperso. Su eficiencia depende en gran parte de la capacidad de formar flóculos y sedimentar.

El proceso consiste en un flujo ascendente a través de un lecho de lodo denso y de elevada actividad. El perfil de sólidos varía de muy denso y con partículas granulares de elevada capacidad de sedimentación, próximas al fondo (lecho de lodo), hasta un lodo más disperso y leve en la manta de lodos. La estabilización de la materia orgánica ocurre en todas las zonas de reacción. El agua cruda ingresa por el fondo del reactor de manera uniforme y sale mediante canales colocados en la parte superior del reactor, tiene un dispositivo de separación de gases y sólidos ubicado cerca de dos tercios de la altura total del reactor, éste garantiza la sedimentación de las partículas que se desprenden de la manta de lodo permitiendo que retornen nuevamente a la cámara de digestión (Adaptado de Lizano, M. 2000 y Goñi, P. 2001)

Existen tres zonas de importancia dentro del reactor:

- Cama de lodos
- Zona de floculación o blanqueo
- Zona de sedimentación

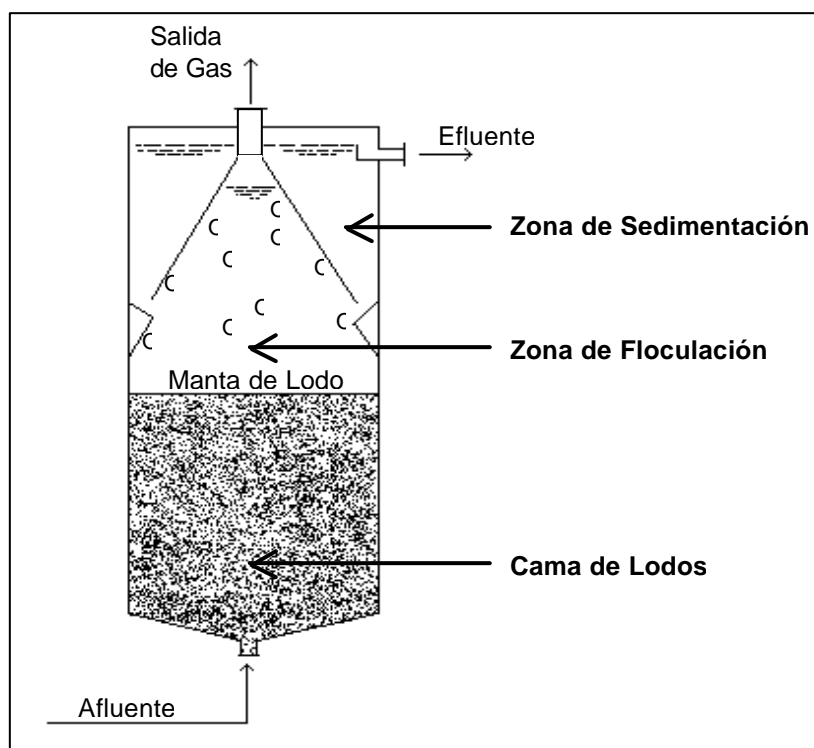
La cama de lodos consiste en una zona de sedimentación de partículas. Inicialmente se “**siembra**” en el reactor lodo (inóculo). Éstas son las bacterias encargadas de producir la digestión anaerobia. El lodo utilizado debe contar con buenas características que

dependen del tipo de agua a tratar en el sistema, entre ellas se encuentran: buena sedimentabilidad, actividad y estabilidad.

En la zona de floculación, se encuentran las partículas perturbadas por el gas ascendente, las partículas de biomasa se adhieren a las burbujas de gas y son arrastradas. Las burbujas llegan hasta el recolector de gas y las partículas decaen nuevamente.

La zona de sedimentación, se encuentra arriba de la unidad recolectora de gas, aquí se asegura la separación completa del lodo del efluente. La agitación suave que provee el gas ascendente a las partículas, promueve la floculación de los microorganismos.

En la figura 3-3 se presenta de forma gráfica la ubicación de cada una de estas zonas.



**Figura 3-3:** Representación esquemática de un RAFA.  
**Fuente:** Adaptado de Chernicharo, C. 1997.

La alimentación de agua, es un aspecto que debe ser controlado muy bien, ya que entre mayor sea la mezcla o contacto del lodo con el agua, mayor será la eficiencia de remoción de materia orgánica.

### 3.3.3 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

El Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) fue desarrollado por Young y McCarty en el año 1969. No guarda diferencia con los RAFA, en cuanto a procesos se refiere. La principal diferencia entre ambos reactores consiste en la forma de retener la biomasa dentro. En la figura 3-4 se muestra un diagrama esquemático de un FAFA.

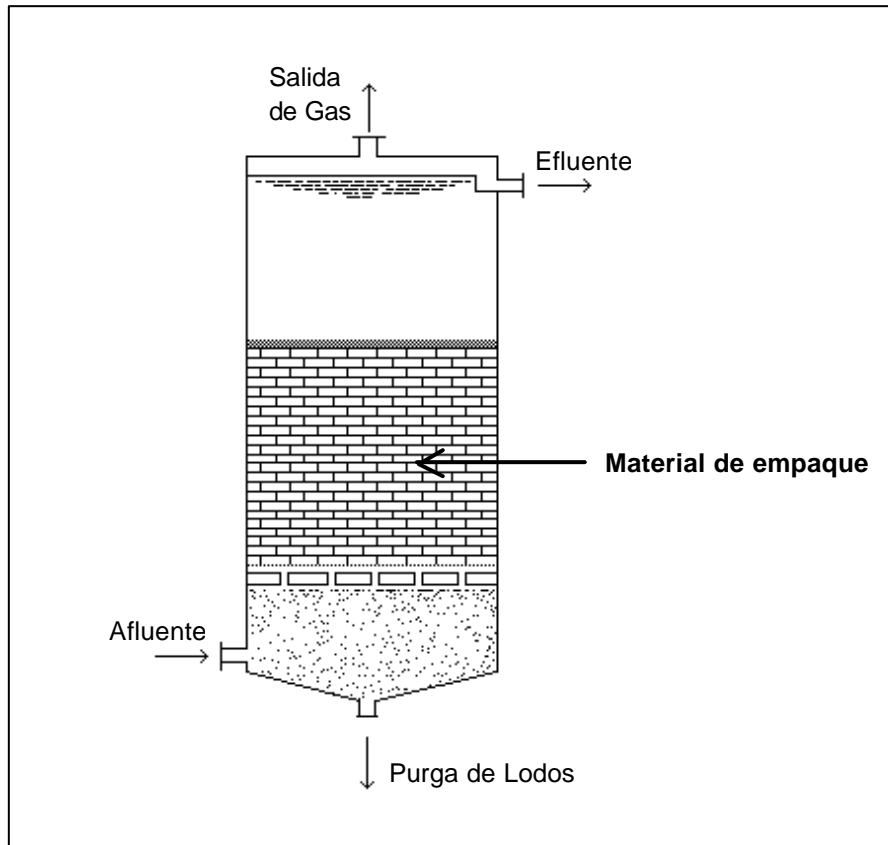
Los FAFA se caracterizan por la presencia de un material de empaque, en donde la materia orgánica es estabilizada por la acción de microorganismos que se encuentran retenidos. La biomasa metanogénica es retenida dentro del sistema mediante tres formas posibles:

- Por medio de su adhesión, en forma de biopelícula al soporte
- Por medio de su adhesión, en forma de biopelícula en los intersticios del soporte
- En forma de flóculos retenidos bajo el material de soporte.

Durante el proceso, los compuestos orgánicos solubles que tiene el afluente entran en contacto con la biomasa, difundándose a través de las biopelículas o del lodo y degradándose, principalmente en metano y dióxido de carbono.

Como material de soporte, se han empleado muchos tipos de elementos: piedra pómez, piedra lava, bambú, pedazos de llantas, polietileno, entre otros. Este se escoge principalmente en función de la disponibilidad y el costo. Debe cumplir con ciertas características para ser considerado como soporte apropiado, entre ellas se encuentran las siguientes (Chernicharo, C. 1997 y Vindas, K. 2001):

- Ser de un material química y biológicamente inerte
- Tener una gran porosidad
- Tener una alta superficie específica, superior a  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$
- Tener una superficie con propiedades adecuadas para la adhesión
- Ser ligero para no incrementar los costos de la estructura que lo contiene
- Ser de bajo costo.



**Figura 3-4:** Representación esquemática de un FAFA.  
**Fuente:** Adaptado de Chernicharo, C. 1997.

La película de material biológico que se forma alrededor del medio filtrante, es la encargada de dar el tratamiento final a las aguas residuales. Conforme pasa el tiempo esta película aumenta de espesor, con lo cual los intersticios libres por donde circula el agua se irán haciendo cada vez más estrechos y la capacidad hidráulica del FAFA se irá reduciendo, disminuyendo así, la eficiencia del sistema.

### 3.4 PROCESOS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia representa un sistema ecológico delicadamente balanceado, en donde cada microorganismo tiene una función esencial. Es normalmente considerada un proceso de dos etapas.

En la primer etapa un grupo de bacterias facultativas y anaerobias, conocidas como formadoras de ácidos o fermentativas (acidogénicas), convierten los desechos orgánicos en otros compuestos. Aquí los compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas y lípidos son hidrolizados, fermentados y convertidos biológicamente en materiales orgánicos más simples, principalmente ácidos volátiles.

En la segunda, ocurre la conversión de los ácidos orgánicos, gas carbónico e hidrógeno en biogás. Esta conversión es llevada a cabo por un grupo especial de bacterias, conocidas como formadoras de metano (metanogénicas), las cuales son estrictamente anaerobias.

Los microorganismos que intervienen en el proceso de descomposición anaerobia pueden ser divididos en tres grupos principales, cada uno con comportamientos fisiológicos distintos.

El primer grupo, es de **bacterias fermentativas**, éstas se encargan de transformar, por medio de hidrólisis, los polímeros en monómeros como hidrógeno, acetato, dióxido de carbono, ácidos orgánicos de cadena corta, aminoácidos y otros productos.

El segundo grupo, está formado por las **bacterias acetogénicas** productoras de hidrógeno, que convierten los productos generados por el primer grupo (aminoácidos, azúcares, ácidos orgánicos y alcoholes) en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.

Los productos formados por el segundo grupo, pasan a ser los sustratos esenciales para que actúen el tercer grupo de bacterias, conocidas como **bacterias metanogénicas**. Un grupo usa el acetato para transformarlo en metano y dióxido de carbono, mientras que otra parte produce metano a partir de dióxido del carbono.



A pesar de que el proceso de digestión anaerobia se describió anteriormente de dos fases, para simplificar; cuando se habla de las bacterias que intervienen en el proceso es conveniente subdividirlo en cuatro fases principales:

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

Cada una de estas fases se describe detalladamente a continuación (Chernicharo, C. 1997 y Hing, A. 2000).

### **3.4.1 Hidrólisis**

La primera fase del proceso de degradación anaerobia es la hidrólisis de las moléculas complejas (polímeros) en materiales disueltos más simples. Esta conversión de moléculas grandes a otras de menor tamaño se lleva a cabo por la acción de exoenzimas excretadas por las *bacterias fermentativas hidrolíticas*. La hidrólisis de los polímeros en medio anaerobio ocurre generalmente de forma lenta. Los factores que pueden afectar este proceso son:

- Temperatura de operación
- Tiempo de residencia del sustrato
- Composición del sustrato
- El tamaño de las partículas
- El pH del medio
- La concentración de los productos de la hidrólisis

### 3.4.2 Acidogénesis

Los productos solubles provenientes de la primera fase (hidrólisis), son metabolizados dentro de las células de las bacterias fermentativas, siendo convertidos en diversos compuestos más simples. Estos compuestos incluyen ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico, dióxido de carbono, amonio y sulfato de hidrógeno, así como nuevas células fermentativas. Como los ácidos grasos volátiles son el principal producto de los organismos fermentativos, estos son usualmente denominados *bacterias fermentativas acidogénicas*.

La acidogénesis es afectada por un gran número de bacterias fermentativas. Por ejemplo la especie *Clostridium*, éstas constituyen una especie anaerobia que forma esporas, pudiendo así sobrevivir en ambientes adversos. Otro ejemplo son las *Bacteroides*, estas se encuentran comúnmente en los sustratos digestivos, en donde intervienen en la degradación de azúcares y aminoácidos. La mayoría de las bacterias acidogénicas son anaerobias.

### 3.4.3 Acetogénesis

Las *bacterias acetogénicas* son responsables de la oxidación de los productos generados en la fase acidogénica, convirtiéndolos en el sustrato adecuado para las bacterias metanogénicas. De esta forma, las bacterias acetogénicas forman parte de un grupo metabólico intermediario. Los productos generados por estas bacterias son hidrógeno, dióxido de carbono, ácido acético o acetato.

Durante la formación de los ácidos acético y propiónico, se forma una gran cantidad de hidrógeno provocando una reducción de pH en el medio. El hidrógeno producido es consumido de dos formas, la primera es por medio de bacterias metanogénicas que usan el hidrógeno junto con dióxido de carbono para producir metano. La otra forma es mediante la formación de ácidos orgánicos tales como el propiónico y butírico, los cuales se forman por medio de la combinación del ácido acético con dióxido de carbono e hidrógeno.

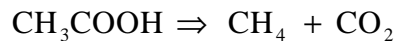
De todos los productos metabolizados por las bacterias acidogénicas, apenas el hidrógeno y el acetato pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Debido a esto al menos el 50% de la DQO biodegradable se convierte en propionato y butirato, los cuales son posteriormente descompuestos en acetato e hidrógeno mediante la acción de las bacterias acetogénicas.

#### 3.4.4 Metanogénesis

La etapa final en el proceso de degradación anaerobia de los compuestos orgánicos a metano y dióxido de carbono es llevada a cabo por las *bacterias metanogénicas*. Estas utilizan un limitado número de sustratos, básicamente: ácido acético, hidrógeno/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas y monóxido de carbono.

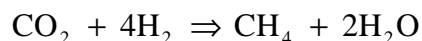
Las bacterias metanogénicas son divididas en dos grupos principales, esto en función de su afinidad por el sustrato y la magnitud de producción de metano. El primer grupo se encarga de formar metano a partir de ácido acético y metanol, se conocen como *bacterias acetoclásticas*. El segundo grupo se encarga de producir metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, se llaman *bacterias hidrogenotróficas*.

- **Metanogénicas acetoclásticas:** Pocas especies de bacterias metanogénicas son capaces de formar metano a partir de acetato, éstas son principalmente los microorganismos predominantes en la digestión anaerobia. Son responsables de cerca del 60% de la producción total del metano, mediante la siguiente reacción:



Hay dos géneros principales presentes en este grupo: *Methanosarcina* y *Methanosaeta*. Son considerados los más versátiles dentro de las metanogénicas.

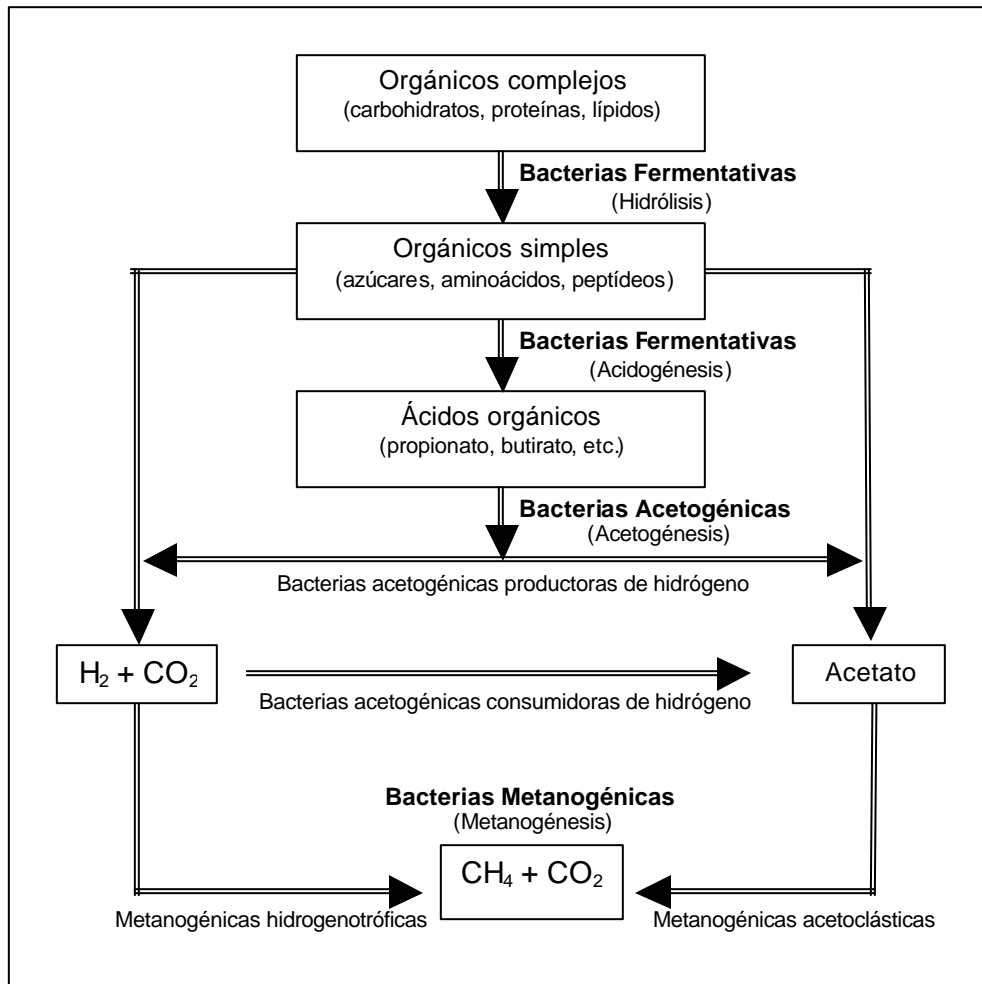
- **Metanogénicas hidrogenotróficas:** Prácticamente todas las especies de hidrogenotróficas son capaces de producir metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la siguiente reacción:



Los géneros más frecuentes encontrados en los reactores anaerobios son: *Methanobacterium*, *Methanospirillum* y *Methanobrevibacter*.

Estos dos grupos de bacterias son de gran importancia para mantener la degradación anaerobia, ya que son las responsables de consumir el hidrógeno producido en las fases anteriores

En la siguiente figura se muestra una representación esquemática de los grupos bacterianos y de las fases de la digestión anaerobias.



**Figura 3-5:** Secuencia metabólica y grupos microbianos de la digestión anaerobia.  
**Fuente:** Chernicharo, C. 1997.

**CAPÍTULO 4:**  
**CONSIDERACIONES TEORICAS DE LA OPERACIÓN**  
**DE REACTORES ANAEROBIOS**

La eficiencia de estos sistemas de tratamiento depende fundamentalmente del control de tres etapas en el proceso global. Estas tres etapas corresponden al arranque del sistema, la operación y el mantenimiento.

Para lograr que el sistema funcione adecuadamente, es importante conseguir que se logre estabilizar de una forma correcta. Posteriormente, su buen funcionamiento dependerá del tipo de operación y mantenimiento que se le brinde. Por lo tanto, resulta importante conocer brevemente en que consiste el arranque de estos sistemas.

#### **4.1 ARRANQUE DEL SISTEMA**

El arranque de los reactores anaerobios se puede definir como un periodo de transición inicial, marcado por inestabilidades operacionales. Básicamente, puede conseguirse de tres formas:

La primera es utilizar lodo inóculo adaptado a las aguas que serán tratadas; en este caso, el arranque se da de una forma rápida y satisfactoria, se evita la necesidad de aclimatar el lodo. Otra forma, es utilizar lodo inóculo no adaptado al tipo de aguas que se pretende tratar, aquí el arranque del sistema pasa por una etapa de aclimatación, incluyendo una fase de selección microbiana. La tercera forma de lograr el arranque del sistema es que la planta genere su propio lodo, ésta se considera una de las formas más desfavorables ya que se puede tardar desde cuatro hasta 6 meses para lograr el funcionamiento adecuado del sistema.

Según Chernicharo, C. (1997), algunas de las consideraciones para el arranque adecuado del sistema, son las siguientes:

## 4.1.1 Consideraciones importantes para el arranque

### 4.1.1.1 Volumen de inóculo para el arranque del proceso

El volumen de inóculo para el arranque del sistema es determinado en función de la carga biológica inicialmente aplicada. La carga biológica es un parámetro que caracteriza la carga orgánica aplicada al sistema, en relación a la cantidad de biomasa presente en el reactor. Esta carga se refiere a la cantidad de materia orgánica aplicada diariamente al reactor, por unidad de biomasa presente en el mismo. Se calcula de la siguiente forma:

$$CB = \frac{Q \times S}{M}$$

Donde: CB: carga biológica (kg DQO / kg SVT.d)  
Q: caudal (m<sup>3</sup>/d)  
S: concentración de sustrato del afluente (kg DQO / m<sup>3</sup>)  
M: masa de microorganismos presentes en el reactor (kg SVT / m<sup>3</sup>)

Se recomienda que las cargas biológicas iniciales, durante el arranque del reactor, sean del orden de 0,05 a 0,5 kg DQO / kg SVT.d, dependiendo del tipo de afluente. En el caso de aguas domésticas, la carga biológica puede ser del orden de 0,30 kg DQO / kg SVT.d. Estas cargas deben ser aumentadas gradualmente, en función de la eficiencia del sistema.

### 4.1.1.2 Carga hidráulica volumétrica

Esta equivale a la cantidad de agua residual aplicada diariamente al reactor, por unidad de volumen. Se calcula de la siguiente forma:

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

Donde: Q: caudal (m<sup>3</sup>/d)  
V: Volumen total del reactor (m<sup>3</sup>)

La carga hidráulica produce al menos tres diferentes efectos sobre la biomasa del reactor durante el arranque del sistema.

Se encarga de retirar toda la biomasa con características de sedimentación precarias, dejando así espacio para nueva biomasa en crecimiento. Mediante esta remoción de biomasa se genera una selección de la biomasa activa. Además, tiene gran influencia sobre las características de mezcla del reactor; para mantener el manto de lodo en suspensión es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0.6 y 0.9 m/h.

#### **4.1.1.3 Climatización de la biomasa**

Las principales directrices, para la climatización de la biomasa en reactores de aguas domésticas, son las siguientes:

- No regresar al reactor, el lodo perdido en el efluente.
- Aumentar la carga orgánica progresivamente, siempre que la remoción de DBO y DQO alcance por lo menos 60%.
- Mantener las concentraciones de ácidos grasos volátiles debajo de 200 a 300 mg/L
- Proveer la alcalinidad necesaria al sistema, de forma que se pueda mantener un pH próximo a 7.

#### **4.1.2 Procedimientos antes del Arranque del Sistema**

Una vez que se tiene claro cual va a ser el lodo de inóculo para el arranque del reactor, se debe realizar un análisis para su caracterización cualitativa, incluyendo los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles, sólidos totales, sólidos volátiles totales y la actividad metanogénica específica.

También, para poder establecer la rutina clara para el arranque, es necesario realizar una caracterización cualitativa y cuantitativa del agua cruda a tratar en el sistema. El volumen de lodo de inóculo necesario para lograr el arranque, se calcula con base en las caracterizaciones del lodo y de las aguas crudas.



### **4.1.3 Procedimientos durante el Arranque del Sistema**

A continuación se describen brevemente los principales procedimientos que se deben seguir durante el arranque del sistema.

#### **4.1.3.1 *Inoculación del reactor***

La inoculación, se puede dar tanto con el reactor lleno como vacío. Sin embargo, se recomienda la segunda opción. En el caso de que se encuentre vacío se debe cuidar que el lodo se descargue en el fondo del reactor, se deben evitar las turbulencias, además se debe dejar el lodo en reposo por un periodo aproximado de 12 a 24 horas con el objetivo de que se dé una adaptación gradual a la temperatura ambiente.

#### **4.1.3.2 *Alimentación del reactor***

Una vez finalizado el periodo de reposo, se debe iniciar la alimentación del reactor con las aguas residuales hasta que alcance aproximadamente la mitad de su volumen útil.

Luego se debe dejar sin alimentación por un periodo de 24 horas; al finalizar este periodo se deben recolectar muestras dentro del reactor y efectuar el análisis de los siguientes parámetros: temperatura, pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles. En caso de que dichos parámetros estén dentro de los rangos aceptados se debe proseguir con el proceso de alimentación. Valores aceptables son: pH entre 6,88 y 7,4; alcalinidad por encima de 700 mg/L; ácidos grasos volátiles por debajo de 200 mg/L. Se debe mantener una relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV/Alc) inferior a 0.3.

Posteriormente, se continúa con el proceso de llenado del reactor, hasta alcanzar su volumen total. Se debe dejar nuevamente sin alimentación por otro periodo de 24 horas. Al finalizar este periodo se deben recoger nuevamente muestras para que sean analizadas.

Se debe implantar un sistema de monitoreo de rutina en esta etapa. Además, se debe realizar un aumento gradual del caudal del efluente, inicialmente cada 15 días y de acuerdo a la respuesta del sistema.

#### 4.1.3.3 Monitoreo del proceso de tratamiento

Para realizar el monitoreo del proceso de tratamiento se debe definir una rutina de recolección de muestras y parámetros físico-químicos, los cuales serán analizados. A continuación, se presenta un programa de monitoreo que puede ser adoptado durante el arranque del sistema.

**Cuadro 4-1.** Programa de monitoreo recomendado en un Reactor Anaerobio durante el arranque.

Parámetro	Unidad	Frecuencia de Muestreo		
		Afluente	Reactor	Efluente
Producción de biogás	m <sup>3</sup> / d	-	diaria	-
Temperatura	°C	diaria	diaria	-
pH	-	diaria	diaria	-
Sólidos sedimentables	mg / L	diaria	-	diaria
Alcalinidad	mg / L	1 x quincena	-	1 x semana
Ácidos grasos volátiles	mg / L	1 x quincena	-	1 x semana
Sólidos suspendidos	mg / L	1 x mes	-	1 x quincena
Sólidos totales	mg / L	-	mensual	
Sólidos volátiles totales	mg / L	-	mensual	
DQO	mg / L	1 x quincena	-	1 x semana
DBO	mg / L	1 x quincena	-	1 x semana
Nitrógeno amoniacal	mg / L	mensual	-	mensual
Actividad metanogénica específica	gDQO / gSV.d	-	mes	-

**Fuente:** Adaptado de Chernicharo, C. 1997.

Lo que se busca es la estabilización del sistema; por lo tanto, una vez que los resultados no presenten variaciones significativas, se pueden llevar las frecuencias de muestreo a las que se indican en el programa de monitoreo de rutina (cuadro 4-2)

## **4.2 OPERACIÓN DEL SISTEMA**

Para realizar una adecuada operación de los reactores anaerobios, es necesario seguir una serie de pasos que permitirán un adecuado control del sistema. En esta sección se describirán detalladamente esos pasos.

### **4.2.1 Monitoreo del Sistema**

Para realizar una operación adecuada de un sistema de tratamiento anaerobio, es necesario efectuar un monitoreo apropiado del proceso y, mientras sea posible, mantener las condiciones ambientales propicias.

Las características físicas y químicas, afectan el crecimiento bacteriano. Los factores físicos en general actúan como agentes selectivos. La digestión anaerobia es particularmente susceptible a un control riguroso de estas condiciones. Para el control de la operación, se especifican los siguientes parámetros:

- Físicos: Temperatura, mezclado, pH y sólidos totales y volátiles.
- Químicos: Alcalinidad, ácidos grasos volátiles (AGV), producción de gas, nitrógeno amoniacal, sulfuros, DBO, DQO.

El pH, la alcalinidad, la concentración de ácidos grasos volátiles, la DQO, y la producción de gas son considerados parámetros de respuesta primarios, ya que con ellos es posible evaluar el funcionamiento del digester anaerobio y por lo tanto, las condiciones bajo las cuales se ésta digiriendo el lodo dentro del reactor.

La selección de estos parámetros fue hecha de acuerdo a los efectos que tienen sobre el funcionamiento del digester anaerobio, su justificación se describe a continuación:

#### **4.2.1.1 Temperatura**

De los factores físicos que afectan el crecimiento bacteriano, la temperatura es uno de los más importantes en la selección de especies. Los microorganismos no poseen medios para controlar su temperatura interna, es por esto que la temperatura de las bacterias es determinada por la temperatura ambiente externa. El rango de temperatura puede ser asociado al crecimiento bacteriano en la mayoría de los procesos biológicos. En este caso la fase de crecimiento bacteriano que se da es la mesófila, con un rango que va de los **20** a los **45°C**. Los niveles óptimos de temperatura se encuentran en el rango que va de los 30 a los 35°C. Sin embargo, este rango de temperatura es difícil de alcanzar en la GAM.

La temperatura afecta los procesos biológicos de dos formas. La primera es influyendo en las tasas de reacción de las enzimas, la otra forma es interviniendo en las tasas de difusión del sustrato.

#### **4.2.1.2 pH**

El efecto del pH sobre el sistema se manifiesta de dos formas:

- Directamente: afectando la actividad de las enzimas, esto ocurre por variaciones drásticas del pH.
- Indirectamente: afectando la toxicidad de algunos compuestos.

Las bacterias productoras de metano tienen un crecimiento óptimo en el rango de pH entre **6,6** y **7,4**. Sin embargo, se puede conseguir estabilidad en la formación de metano en un rango de pH más amplio, entre **6,0** y **8,0**. El objetivo principal en el control del pH es eliminar los riesgos por la inhibición de las bacterias metanogénicas, debido a los bajos valores de pH, evitando así una falla en el proceso. Para realizar el ajuste de pH puede emplearse cal, bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) o soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ). Debe tenerse cuidado para evitar la precipitación excesiva de los carbonatos de calcio que se forman.

### **4.2.1.3 Sólidos totales**

El realizar un balance de sólidos en el reactor anaerobio, permite determinar la eficiencia de operación del proceso. Una deficiencia en la operación puede deberse a varias razones, una de ellas es el tiempo en que los sólidos permanecen en el reactor. Un tiempo reducido afectará el proceso teniendo sólidos deficientemente digeridos.

### **4.2.1.4 Alcalinidad**

Es un parámetro importante para el control del proceso. Debe estar presente en suficiente cantidad, para que se logre reducir el efecto de la producción excesiva de acidez en el reactor, provocada por la elevada concentración de ácidos grasos volátiles o por alto contenido de dióxido de carbono.

Para el monitoreo de estos sistemas, la revisión sistemática de la alcalinidad se torna de gran importancia. Ya que una pequeña variación en los niveles de pH implica un consumo elevado en la cantidad de alcalinidad, como resultado de la reacción de la alcalinidad con los ácidos grasos volátiles.

Desde el punto de vista operacional, es deseable mantener elevados niveles de alcalinidad en el sistema, esto porque se podría amortiguar elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles sin variar substancialmente el pH del sistema.

### **4.2.1.5 Ácidos grasos volátiles**

Son producidos por la etapa acetogénica de sustancias orgánicas complejas. Un incremento en la producción de éstos puede ocasionar desequilibrio de los reactores anaerobios al reducirse el pH hasta valores muy ácidos. Lo anterior tiene efecto directo sobre la actividad metanogénica, por lo que es necesario controlar su concentración durante la operación.

#### **4.2.1.6 Relación Ácidos grasos volátiles y Alcalinidad**

El proceso de digestión anaerobia ocurre en dos fases básicas, los dos están en equilibrio intrincado. La primera fase de la digestión es la de fermentación ácida y se relaciona a la primera fase en la digestión de nuevos sólidos volátiles que entran en el digestor. La segunda fase de digestión, fermentación del metano, ocurre en un ambiente más alcalino y así indicativo de una fase avanzada de la digestión. La proporción AGV / Alc. es por consiguiente un indicador del progreso de digestión y el equilibrio entre las dos fases.

Esta proporción varía entre las diferentes plantas de tratamiento, normalmente está debajo de 0.1. Si la proporción empieza a aumentar, debido a una superabundancia de ácidos fermentadores, ésta es la primera indicación de problema en el proceso de la digestión. Esto porque los ácidos fermentadores son asociados con la digestión de los nuevos sólidos volátiles que entran en el digestor, un aumento en la proporción de AGV / Alc. indica un posible alimento excesivo de lodo crudo al digestor. También puede indicar una purga de demasiado lodo digerido (la porción alcalina), dejando así al digestor con una sobreproducción de ácidos grasos volátiles.

Los cambios bruscos en esta relación generan variaciones en el valor de pH del sistema, y como se explico anteriormente, esto produce deficiencias en el sistema. Para realizar el ajuste de pH puede emplearse cal, bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) o soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ). Debe tenerse cuidado para evitar la precipitación excesiva de los carbonatos de calcio que se forman.

Cuando la relación AGV / Alc. de un digestor anaerobio se incrementa por encima de 0.3 el pH del digestor se viene abajo, produciendo así un digestor ácido. Por lo tanto, se debe mantener esta relación por debajo de **0.3**.

#### 4.2.1.7 **Producción de biogás**

La medición del volumen del gas producido proporciona información sobre la estabilidad o inestabilidad del proceso anaerobio. Una baja producción indicará problemas en la digestión de lodo residual, la causa puede ser el exceso de ácidos volátiles o la presencia de inhibidores o tóxicos que afectan la actividad de las bacterias formadoras de metano. En caso contrario, si ocurre un marcado aumento en la producción de gas, se puede deber a la presencia de un alto volumen orgánico en el lodo digerido.

Una forma de establecer la producción de gas en este tipo de plantas de tratamiento es a partir de la siguiente relación:

$$\text{Producción de gas en el digestor} = K * \text{DQO}_{\text{removido}}$$

donde  $K = 0.35 \text{ l / gDQO}_{\text{removido}}$   
 $\text{DQO}_{\text{removido}} = \text{gramos de DQO removidos}$

Se producen 0.35 litros por cada gramo de DQO removido. Utilizando el caudal promedio de trabajo de la planta y la eficiencia del sistema, se puede obtener la cantidad de metros cúbicos de gas producidos diariamente.

#### 4.2.1.8 **Nitrógeno amoniacal**

Es importante mantener un monitoreo sobre este parámetro, cuando se produzca algún descenso considerable en la eficiencia del sistema y no se conozcan las razones, ya que el nitrógeno en su forma amoniacal cuando se encuentra a concentraciones mayores de 1500 mg/L, inhibe el proceso anaerobio.

#### 4.2.1.9 **Sulfuros**

Los sulfuros están presentes como  $\text{H}_2\text{S}$ , y sulfuro precipitado. Concentraciones de sulfuros entre 50 y 100 mg/L son toleradas por el proceso anaerobio, pero

concentraciones superiores a 200 mg/L son consideradas tóxicas para el digestor. En este caso, el pH es determinante.

#### 4.2.1.10 DBO y DQO

La DBO es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo específico. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar a la materia orgánica de un desecho por medio de un agente oxidante bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Estos parámetros miden la capacidad de biodegradación de la materia orgánica presente en lodos residuales. Son útiles para determinar eficiencia del sistema.

Los análisis de rutina recomendados para el monitoreo del sistema se presentan en el cuadro 4-2.

**Cuadro 4-2.** Programa de monitoreo de rutina recomendado.

Parámetro	Unidad	Frecuencia de Muestreo		
		Afluente	Reactor	Efluente
Producción de biogás	m <sup>3</sup> / d	-	diaria	-
Temperatura	°C	diaria	diaria	diaria
pH	-	diaria	diaria	diaria
Sólidos sedimentables	mg / L	diaria	-	diaria
Alcalinidad	mg / L	1 x quincena	-	1 x quincena
Ácidos grasos volátiles	mg / L	1 x quincena	-	1 x quincena
Sólidos suspendidos	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
DQO total	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
DBO total	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
Grasas y aceites	mg / L	-	-	1 x mes
Nitrógeno amoniacal	mg / L	Cuando sea necesario	-	Cuando sea necesario
Sulfuros	mg / L	Cuando sea necesario	-	Cuando sea necesario

**Fuente:** Adaptado de Chernicharo, C. 1997.



Por lo tanto, se puede resumir el monitoreo del sistema de la siguiente forma:

- La producción de biogás, depende de cada sistema, ya que está en función de la cantidad de materia orgánica removida. Se debe medir para garantizar la estabilidad del sistema, a través de niveles constantes.
- El pH, la temperatura, la relación AGV / Alc., el nitrógeno amoniacal y los sulfuros, son parámetros de control del sistema. El rango óptimo para cada uno de estos parámetros se encuentra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 4-3.** Rango óptimo para cada parámetro de control

<b>Parámetro</b>	<b>Rango óptimo</b>
pH	6,6 – 7,4
Temperatura	30 y 35 °C
AGV / Alc.	Menor a 0,3
Nitrógeno amoniacal	Menor a 1 500 mg/L
Sulfuros	Menor a 200 mg/L

La medición del nitrógeno amoniacal y de los sulfuros debe realizarse en caso de una reducción injustificada de la eficiencia del sistema.

- Los sólidos suspendidos, la DBO y la DQO, son parámetros que permiten establecer la eficiencia de la planta. Además, la DQO permite determinar la producción teórica de biogás, que puede ser comparada con las mediciones reales.
- Por último; la DBO, el pH, la temperatura, las grasas y aceites y los sólidos sedimentables, son parámetros regulados por el reglamento N° 26042-S-MINAE, los cuales deben ser incluidos en el reporte operacional del sistema.

### 4.2.2 Acumulación de sólidos

En los reactores anaerobios, la acumulación de sólidos biológicos se da después de algunos meses de operación continua. Se presenta comúnmente en el fondo del reactor. La tasa de acumulación de sólidos varía dependiendo del tipo de agua residual que se trata.

La acumulación de sólidos, se debe también a la presencia de carbonato de calcio y algunos otros minerales que precipitan, incrementando así la producción de biomasa. La acumulación de biomasa depende esencialmente de la composición química del agua residual, siendo mayor en aquellas con elevadas concentraciones de carbohidratos. Cuando predomina la acumulación de sólidos que no es producto del crecimiento bacteriano, puede ser reducida a través de un pre-tratamiento que involucre coagulación, floculación y decantación.

Para evaluar la cantidad de lodo excedente, producida en reactores anaerobios de aguas residuales domésticas, se utilizan generalmente tasas de 0,10 a 0,20 kgSST por kgDQO aplicada al sistema, este valor se conoce como el *coeficiente de sólidos del sistema*. Para estimar la producción de lodo en el reactor, se puede utilizar la siguiente ecuación (Chernicharo, C. 1997):

$$P_{\text{lodo}} = Y \times \text{DQO}_{\text{apl}}$$

Donde:  $P_{\text{lodo}}$  = producción de sólidos del sistema (kg SST/d)  
 $Y$  = coeficiente de sólidos del sistema (kgSST/kgDQO<sub>apl</sub>)  
 $\text{DQO}_{\text{apl}}$  = carga de DQO aplicada al sistema (kgDQO<sub>apl</sub>/d)

En este caso, se podría utilizar el valor promedio de  $Y$ , por lo que la ecuación anterior se resume en una producción de lodos de 0.15 kgSST/d por cada kgDQO<sub>apl</sub>/d.

Se recomienda mantener la cantidad de un tercio de lodo del volumen total del reactor y no más de un medio del volumen. La frecuencia de las purgas de lodo debe ser establecida a partir de las condiciones operacionales óptimas del reactor y pueden variar de 10 a 30 días.

En el caso de los filtros anaerobios, se recomienda que los lodos no sean descartados del reactor hasta que la concentración en la zona de lodos no exceda un 5% en peso, esto para desfavorecer la formación de caminos para el agua dentro del filtro.

La purga de lodo excedente no es necesaria durante los primeros meses de operación. Una vez que sea necesaria, ésta debe hacerse de la parte superior del lecho de lodo. En el caso de exista acumulación de sólidos inertes en el fondo del reactor, como arena por ejemplo, se debe efectuar periódicamente la purga de lodo, incluyendo la parte superior del lecho de lodo junto con el fondo.

### 4.2.3 Prevención de malos olores

Frecuentemente, los procesos anaerobios son asociados a malos olores, convirtiéndose en el principal impedimento para la utilización de este tipo de sistemas. Esta formación de malos olores está relacionada a la reducción de compuestos de azufre a sulfato de hidrógeno ( $H_2S$ ). Este gas puede escapar del reactor tanto por vía gaseosa, a través de las tuberías de gas, como por vía líquida, disuelto en el efluente. Debido a estos motivos se deben tomar las medidas necesarias para la prevención de malos olores.

En el caso de generación de gases como metano, sulfato de hidrógeno o gas carbónico, existen alternativas de tratamiento que pueden ser aplicadas:

- adsorción, pasando el gas a través de un material poroso (por ejemplo carbón activado)
- absorción, pasando el gas a través de un líquido poco volátil (solvente)
- precipitación química, pasando el gas a través de un sello hídrico que contenga algún elemento precipitante.

En relación a los gases disueltos en el efluente, es necesario cubrir el reactor para evitar la liberación de gases al medio ambiente. Además, para tratar los gases disueltos que escapan por el efluente, puede utilizarse algún método de post-tratamiento, como por ejemplo precipitación química u oxidación química o bioquímica.

### **4.3 CORRECCIÓN DE PROBLEMAS**

Durante la operación normal de este tipo de sistemas, pueden surgir una serie de problemas que disminuyen la calidad del proceso, desfavoreciendo así las condiciones ambientales del efluente y los alrededores.

Para corregir estos problemas, existen una serie de tablas generadas en una de las investigaciones de Chernicharo (1997), en donde se indica el problema específico en el sistema, así como las posibles causas y soluciones. Estas se encuentran en el **manual de operación y mantenimiento**, ubicado en el **anexo A**.

**CAPÍTULO 5:  
METODOLOGÍA**

## **5.1 METODOLOGÍA GENERAL**

A continuación, se presenta una descripción general de la metodología de trabajo, en donde se establecen las relaciones entre cada una de las actividades realizadas. Más adelante, en este mismo capítulo, se describirá en detalle cada uno de los aspectos relevantes del proceso.

El primer aspecto en que se trabajó, fue en la búsqueda de información relacionada sobre el tema. El objetivo es dar al proyecto las bases teóricas suficientes para un adecuado desarrollo y de este modo entender el funcionamiento de los sistemas anaerobios, en este caso los reactores anaerobios. La búsqueda de información se realizó a lo largo de todo el proyecto a través de la revisión de distintos libros, tesis, revistas, páginas de Internet y mediante consultas a profesionales en el área.

Una de las primeras actividades fue establecer las PTAR evaluadas. Para ésto se determinaron las que se encuentran actualmente en funcionamiento y se escogieron cuatro plantas de características similares, en este caso con reactores anaerobios. Las plantas establecidas son:

- Bosques de Santa Ana
- Lomas de Curridabat
- Ciudad de Oro
- Villas del Sol

Se realizaron gestiones con cada uno de los encargados directos de las plantas, para la respectiva aprobación de trabajo. Las plantas de Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat son administradas y operadas por el urbanizador, mientras que las de Ciudad de Oro y Villas de Sol, están a cargo de una empresa especializada en el área de ambiental y sistemas de tratamiento. Ante la petición de permiso para el proyecto, todos los encargados estuvieron de acuerdo.

Una vez establecidas las cuatro PTAR, se realizaron una serie de visitas al departamento de archivo del Ministerio de Salud (MINSa). El objetivo de estas visitas es el de revisar los

documentos de cada una de las plantas presentados ante este Ministerio. Toda la información recopilada, es utilizada para entender los diferentes procesos, así como para complementar la evaluación de las plantas.

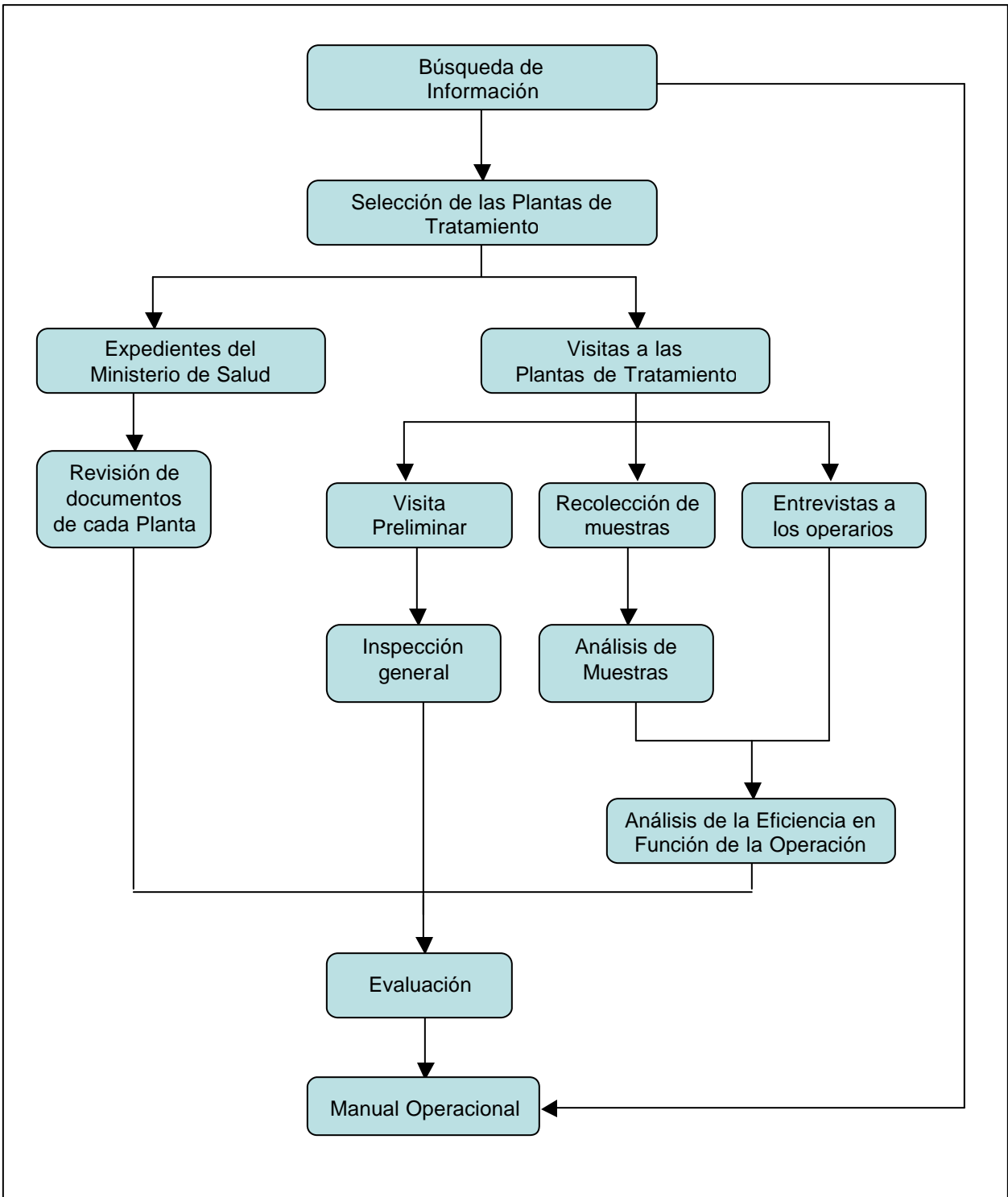
Al mismo tiempo, se iniciaron las visitas a las plantas. En primera instancia se realizó una visita preliminar, en ésta se realizó una inspección general de la planta y los procesos. También, se entrevistó a los operarios de cada planta para conocer de forma general el funcionamiento de todo el sistema.

Debido a que las PTAR no presentaban los respectivos reportes operacionales ante el MINSA, se decidió realizar una serie de muestreos en cada planta y analizarlos en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Una vez que se tenía claro el funcionamiento de cada sistema, así como el horario de los operarios, se comenzó con la recolección de muestras de cada planta. Se realizaron cuatro muestreos simples en las plantas de Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat, y tres en Ciudad de Oro y Villas del Sol, a diferentes horas del día, diferentes días. La diferencia en el número de muestras, se debe a que la empresa encargada de la operación y mantenimiento de estas últimas dos plantas, suministró resultados de pruebas realizadas.

En cada una de las visitas se realizaba un registro de los procesos operativos que se estuvieran llevando a cabo ese día o durante el transcurso de la semana, el objetivo de esto es poder generar una descripción detallada de la operación y mantenimiento que se le brinda a cada una de las plantas. Además, al final de la etapa de muestreos se realizó una visita en donde se suministró al operario un cuestionario detallado, con el objetivo de complementar la descripción de los procesos operativos.

Por último, a partir de un análisis de la eficiencia de cada planta en función de los procesos operativos y en conjunto con la información generada hasta el momento, se realiza la evaluación de cada sistema. A partir de toda la investigación realizada, se fundamenta la elaboración del **manual operacional**.

En la siguiente figura se muestra el esquema general de la metodología utilizada para la elaboración del proyecto.



**Figura 5-1:** Esquema metodológico del proyecto.



## 5.2 METODOLOGÍA ESPECÍFICA

En esta sección se describirá la metodología llevada a cabo en las actividades de mayor relevancia en el proyecto.

### 5.2.1 Plantas evaluadas

Para llevar a cabo la evaluación correspondiente de los procesos operativos en las plantas de tratamiento, es necesario realizar el análisis en sistemas que estén operando continuamente. Para establecer cuales son las plantas en funcionamiento actualmente en el país, se recurrió al “*Estudio Sobre la Situación de la Tecnología de Tratamiento de las Aguas Residuales de Tipo Ordinario en Costa Rica*”, realizado por el ICAA. En este estudio, se indica cuáles son las plantas que se encuentran en operación y el tipo de sistema con que cuentan. Con base en esta información, se establecieron las plantas de tratamiento evaluadas, éstas son las siguientes:

- Bosques de Santa Ana
- Lomas de Curridabat
- Ciudad de Oro
- Villas del Sol

Los cuatro sistemas funcionan con reactores anaerobios. La planta de Bosques de Santa Ana, cuenta con un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), mientras que las tres restantes tienen un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). En el siguiente capítulo, se realizará una descripción detallada de cada uno de estos sistemas.

Estas PTAR, vierten las aguas a cuerpos de agua, debido a esto deben rendir informes de su operación ante el MINSA. A partir de esta premisa, se recurrió al archivo del MINSA para conocer sobre toda la información presentada por los encargados de estas plantas. Entre la información más relevante obtenida en este departamento se encuentran las memorias de cálculo de cada uno de los sistemas y algunos manuales de operación y mantenimiento de las plantas. Con respecto a los manuales, se determinó que son muy escasos de información, por lo que no complementan adecuadamente los procesos. En

los expedientes de las plantas, no se encontraron los reportes operacionales que deben presentar cada una, debido a esto se efectuaron algunos muestreos y pruebas de laboratorio para así poder realizar la evaluación de cada sistema.

### 5.2.2 Muestreos

Se realizaron cuatro muestreos simples en las plantas de Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat y tres en las plantas de Ciudad de Oro y Villas del Sol. La diferencia en el número de muestreos, cuatro en las dos primeras y tres en las restantes, se discutirá con mayor detalle más adelante.

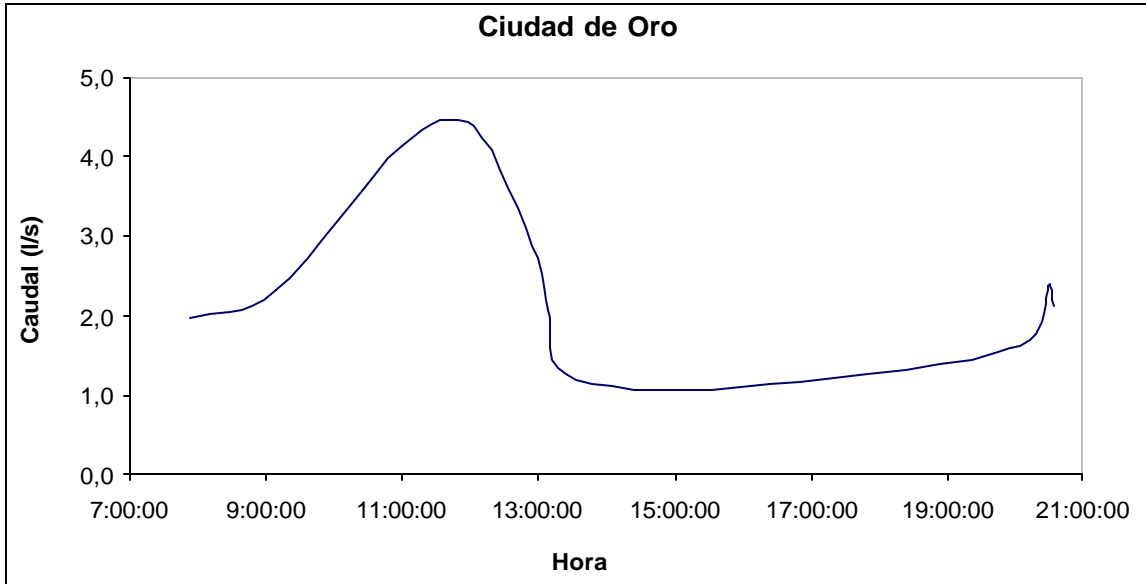
El motivo por el cual se realizaron muestreos simples, se debe a que en el *Manual de Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales*<sup>5</sup>, se establece que los muestreos compuestos se utilizan para análisis de vertido y caracterización de aguas para diseño; mientras que los muestreos simples se utilizan para la evaluación de sistemas de tratamiento.

Lo que se busca a través de estos muestreos, es conocer la eficiencia de cada planta. Se realizaron en diferentes días y a distintas horas, en horas de alto y bajo caudal.

Para determinar la hora de cada muestreo se evaluó la variación del caudal de entrada de dos de las plantas, Ciudad de Oro y Villas del Sol. En las figuras 4-1 y 4-2 se pueden ver las respectivas variaciones.

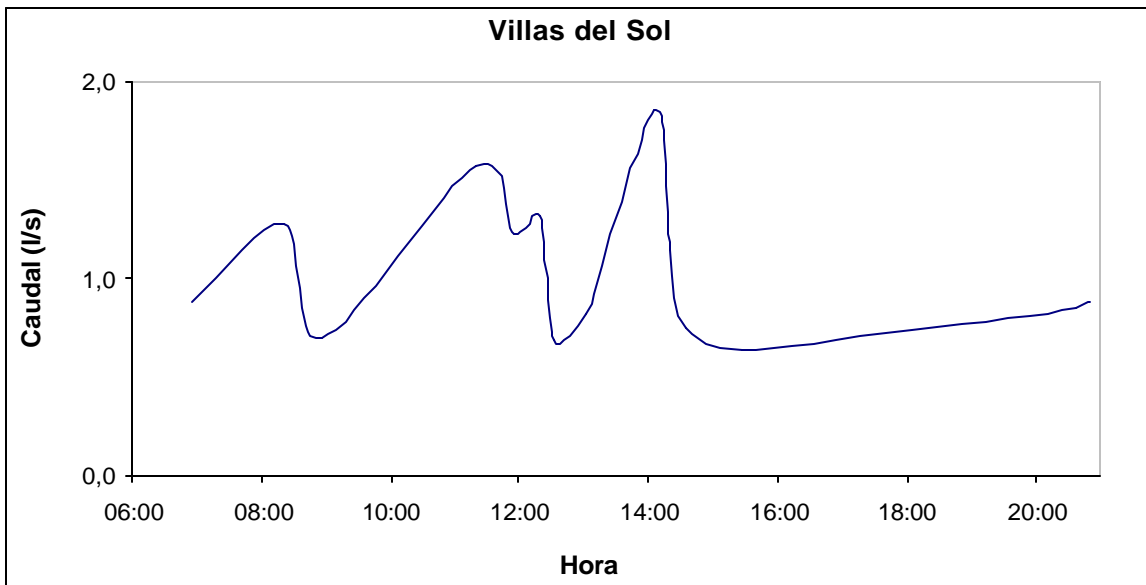
---

<sup>5</sup> Conocido por sus siglas en inglés como: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.



**Figura 5-2:** Variación de caudal, Ciudad de Oro

Fuente: Empresa operadora



**Figura 5-3:** Variación de caudal, Villas del Sol

Fuente: Empresa operadora

En la figura 4-1 se presenta una distribución de caudal con valores máximos entre las 10:00 a.m. y la 1:00 p.m. En la figura 4-2 se muestran diferentes valores máximos y mínimos, a partir de esta figura se identifican tres periodos con caudales relativamente mayores, el primero es entre las 7:00 a.m. y las 8:00 a.m., el siguiente es entre las 11:30 a.m. y las 12:30 p.m. y por último entre 1:00 p.m. y las 2:30 p.m. También se presentan tres periodos con caudales relativamente bajos, éstos son de 8:30 a.m. a 10:00 a.m., de 12:30 p.m. a 1:00 p.m. y de 2:30 en adelante.

Las plantas de Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat no tenían información sobre mediciones de caudal, por lo que la asignación de las horas de muestreo se hizo considerando la información anterior y tomando en cuenta la experiencia de los operadores e ingenieros encargados de las cuatro plantas. Con base en esto, se establece el horario de muestreo que se presenta en el cuadro 5-1.

**Cuadro 5-1:** Horario de muestreo en las plantas de tratamiento

<b>Planta de Tratamiento</b>	<b>Horario de muestreo</b>
Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat.	7:00 a.m.
	9:00 a.m.
	1:00 p.m.
	3:00 p.m.
Ciudad de Oro y Villas del Sol	7:00 a.m.
	9:00 a.m.
	3:00 p.m.

Con respecto a las horas pico, se considera lo siguiente:

- A las **7:00 a.m.**: se toma en cuenta el efecto de las aguas producto del baño de las personas que salen a trabajar y a estudiar.
- A la **1:00 p.m.**: se toma en cuenta el efecto generado por la preparación de alimentos a la hora del almuerzo.

Para las plantas de Ciudad de Oro y Villas del Sol, no se programa muestreo a la 1:00 p.m. Esto se debe a que la empresa encargada de la operación, proporcionó análisis de laboratorio realizados varios días a esta hora en cada planta. Estos análisis se incorporan al proceso de evaluación.

Con la distribución de muestreos realizada, se trata de contar con información de las plantas a lo largo de todo el día y durante periodos de alto y bajo caudal. Es importante considerar, que esas horas deben ajustarse al horario de trabajo de cada operador, por lo que pueden variar ligeramente entre una planta y otra.

### 5.2.3 Pruebas de laboratorio

Debido a que no se encontraron datos sobre reportes operacionales presentados por ninguna de las plantas, surge la necesidad de efectuar diferentes pruebas de laboratorio con el fin de determinar la eficiencia de las plantas y con base en éstas realizar la respectiva evaluación.

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, bajo los lineamientos descritos en el laboratorio del curso Análisis Ambiental I.

La distribución de las pruebas realizadas se presenta en el siguiente cuadro.

**Cuadro 5-2:** Pruebas realizadas en cada planta de tratamiento

Día	Pruebas <sup>6</sup>	
	Entrada	Salida
Día 1 y 3	pH Temperatura Sólidos DBO	pH Temperatura Sólidos DBO
Día 2 y 4	pH Temperatura Sólidos DBO	pH Temperatura Sólidos DBO y DQO Alcalinidad

<sup>6</sup> Los sólidos que se determinaron en cada muestreo son: sólidos totales, sólidos filtrables, sólidos disueltos y sólidos coloidales

El tipo y número de pruebas realizadas en cada una de las plantas, esta en función de la disponibilidad del equipo del laboratorio.

Se realizaron pruebas de pH, temperatura, sólidos y DBO a la entrada y a la salida en cada una de las plantas y en todos los muestreos. Sin embargo, las pruebas de DQO y alcalinidad, se realizaron únicamente a la salida y dos de los días de muestreo, una vez en la mañana y otra en la tarde.

Las mediciones de DBO, DQO y sólidos, se realizaron para establecer la eficiencia del sistema. Además, el DQO sirve para calcular la producción de biogás, para esto se debe establecer una relación entre la DBO y la DQO y aplicarla a la DBO de entrada.

Las mediciones de pH, temperatura y alcalinidad, son parámetros de control del sistema. Es importante mencionar que la medición de alcalinidad se complementa con la de los ácidos grasos volátiles, para establecer la relación AGV/Alc. Sin embargo, por limitaciones con el equipo de laboratorio, no fue posible realizar la medición de los ácidos grasos volátiles. Por lo tanto, el valor de la alcalinidad se utiliza para determinar si hay variaciones significativas, que puedan indicar fallos en el sistema.

A pesar de que las mediciones de DQO y alcalinidad son importantes, para la medición de la eficiencia y el control del sistema respectivamente, sólo se pueden realizar dos en cada planta, debido a que representan costos muy elevados para el proyecto.

Las pruebas de campo y laboratorio realizadas se encuentran en el anexo B.

### 5.2.4 Entrevistas

La caracterización de los procedimientos de operación y mantenimiento, seguidos en cada una de las PTAR, se realizó de dos formas distintas.

La primera consiste en entrevistas personales realizadas de manera informal a los operarios de cada planta, en forma de diálogos normales. Las preguntas en cada conversación eran básicamente las mismas pero dirigidas de diferentes formas, éstas preguntas consisten en la descripción de las labores que hacen y como las hacen. Las entrevistas se efectuaron cada vez que se realizó un muestreo.

El objetivo que se busca a través de este sistema, es establecer una relación de confianza con el operario, en donde éstos indiquen de forma normal y fluida, cuáles son las labores que normalmente realizan en la planta. En ocasiones, los operarios pueden olvidar u omitir parte de sus labores, o en caso contrario, pueden indicar más de lo que realmente hacen, por este motivo se habla con ellos en cada muestreo para poder obtener toda la información correcta. Esta información es registrada y procesada para cada planta.

La segunda forma utilizada para llevar a cabo la caracterización de los procedimientos de operación, consiste en una encuesta detallada, la cual contiene preguntas claves que permiten describir adecuadamente el proceso.

La encuesta se divide en tres partes principales. En la primera, se describen los aspectos generales sobre el operario, su horario de trabajo y su capacitación antes de comenzar a trabajar. En la segunda parte, se detallan los trabajos diarios realizados en la planta y la forma en que se llevan a cabo; también, se indica el equipo de trabajo con que cuenta el operario en cada planta. Por último, se describen los aspectos físico-químicos que se toman en cuenta en la operación del sistema. La primera y segunda parte de la encuesta es contestada por el operario, mientras que la última parte contestada por el ingeniero responsable de la planta. A continuación, se presenta un esquema de la encuesta realizada.

**Descripción de la operación y el mantenimiento de la PTAR**

Planta: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Operario: \_\_\_\_\_ Ente administrador: \_\_\_\_\_

**Aspectos Generales: operario**

- 1) ¿Cuánto tiempo tiene de trabajar en esta planta de tratamiento?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 2) ¿Recibió usted alguna capacitación y/o entrenamiento antes de realizar las labores de operación y mantenimiento de esta planta? En caso de que si, indique de que tipo y descríbala brevemente.  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 3) ¿Cuántas horas diarias y/o semanales trabaja usted en la planta de tratamiento?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 4) ¿Cuántas veces por semana recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado de la planta?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 5) ¿Sabe usted lo que son los reportes operacionales? ¿Cada cuánto se realizan en esta planta?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aspectos Específicos: operario**

- 6) ¿Indique cuál es el equipo de trabajo con el que se cuenta en la planta de tratamiento?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 7) ¿Cada cuánto limpia las rejillas de la entrada?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 8) ¿Cada cuánto limpia la trampa de grasas de la entrada?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 9) ¿Dónde dispone los sólidos y flotantes recolectados en la trampa de grasas y rejillas?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
- 10) ¿Cada cuánto realiza mediciones de pH y en qué procesos?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



11) ¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos del desarenador? En promedio, ¿cuántas veces por mes/año lo lleva a cabo?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

12) ¿Cuál es el mantenimiento que se le da al Reactor/Filtro Anaerobio? ¿Cada cuánto se realizan estas labores?

Revisión de canales (obstrucción): \_\_\_\_\_

Revisión de elementos metálicos (corrosión): \_\_\_\_\_

Revisión de tuberías (fugas): \_\_\_\_\_

Revisión del estado de las llaves: \_\_\_\_\_

Biogás generado: \_\_\_\_\_

otros: \_\_\_\_\_

13) ¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos reactor/filtro anaerobio? Aproximadamente, cada cuánto tiempo lo lleva a cabo?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

14) ¿Cuánto tiempo mantiene los lodos en el lecho antes de recogerlos y cuál es el mantenimiento que se le da al lecho una vez que los retira?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

15) ¿A dónde se llevan los lodos, después de que están secos?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **Aspectos Físico-Químicos: Ingeniero/Encargado/Responsable**

16) ¿Qué pruebas físico-químicas realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

17) ¿Cuál es la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV / Alc) del reactor/filtro? ¿Con qué frecuencia se determina esta relación?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

18) ¿Cuáles pruebas de actividad metanogénica realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

19) ¿Se determina el perfil de lodos? ¿Con qué frecuencia?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Las preguntas que se incluyeron en la encuesta, se establecieron considerando los aspectos teóricos de operación descritos en el capítulo anterior y se complementaron con la experiencia de varios profesionales en el área de ingeniería ambiental.

Toda la información generada en las entrevistas y la encuesta, es integrada y procesada para cada plata, con el objetivo de identificar los procesos de operación presentes en cada una. Las encuestas realizadas se encuentran en el anexo C.

**CAPÍTULO 6:**  
**PLANTAS EVALUADAS**

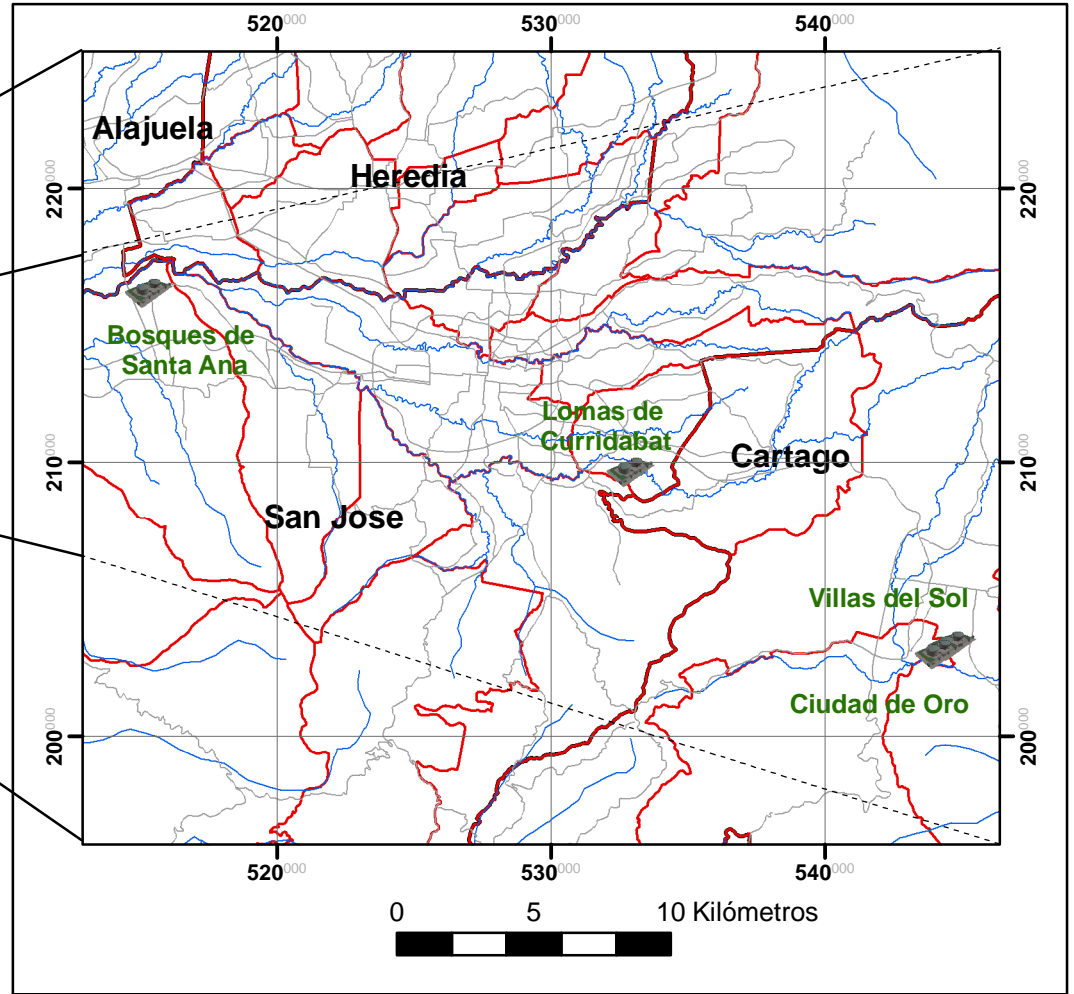
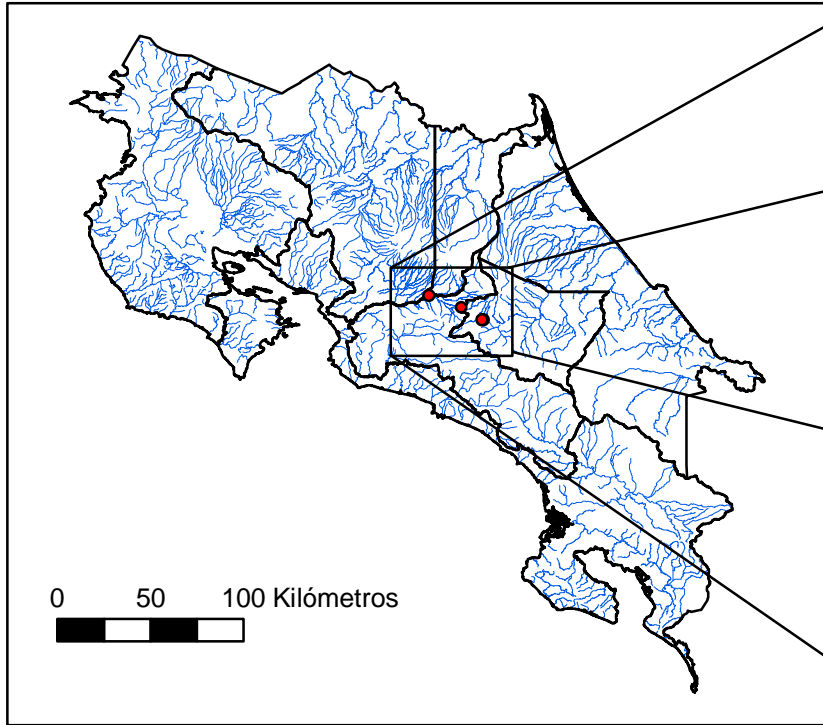
## **6.1 INTRODUCCIÓN**

Para comprender de una forma adecuada los procesos operativos y de mantenimiento en las PTAR de este tipo, se realizó la evaluación de cuatro sistemas ubicados en la GAM. En el mapa 1 se presenta la ubicación general de cada planta.

Como se indicó en capítulos anteriores, las PTAR que se evaluaron en este proyecto son las siguientes:

- Bosques de Santa Ana
- Lomas de Curridabat
- Ciudad de Oro
- Villas del Sol

Para poder realizar una evaluación adecuada de cada una de estas plantas, es necesario conocer en forma detallada las características de la urbanización en donde se encuentran, así como de la planta y del proceso al que se someten las aguas residuales. En este capítulo se describirán detalladamente cada una de estas variables.



**Simbología**

-  Calles nacionales
-  Ríos
-  División cantonal
-  División provincial
-  Plantas evaluadas

**Mapa 1: Ubicación general de las Plantas de Tratamiento evaluadas**

**"Evaluación de Procesos Operativos en Sistemas Anaerobios para el Tratamiento de Aguas Residuales"**

Fuente: Calles 1:50000, Mapas IGN  
ProDUS.  
Visita de campo



## **6.2 PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA**

### **6.2.1 Ubicación general**

La propiedad donde se encuentra este residencial, está situada en Palo Quemado, en el distrito de Pozos del Cantón de Santa Ana, provincia de San José.

La planta de tratamiento se encuentra en el costado sur-oeste de la propiedad. Ésta cumple con el reglamento N° 31545-S-MINAE, respecto a la ubicación del sistema. Cuenta con acceso permanente mediante calle asfaltada.

El sistema desagua hacia la quebrada Pilas, ubicada en la parte norte de la propiedad. En las visitas realizadas se observó un caudal muy bajo en este cuerpo receptor, aunque se debe considerar que todas las visitas fueron realizadas en época seca. En la hoja cartográfica Abra del IGN, se ubica esta quebrada en una zona de transición de intermitente a continua; sin embargo, la urbanizadora constató en campo que ya en la zona donde se ubica la planta, la quebrada se comporta como permanente<sup>7</sup>. A pesar de esto, no se sabe si la quebrada tiene la capacidad suficiente para recibir las aguas de la planta.

### **6.2.2 Descripción de la urbanización**

El nombre de la urbanización a la cual pertenece esta planta es Bosques de Santa Ana. La urbanización está habilitada para 427 casas, aunque aún no se han desarrollado en su totalidad.

Este proyecto urbanístico fue diseñado con un sistema separado de aguas pluviales y aguas negras de origen doméstico (aguas residuales ordinarias).

---

<sup>7</sup> Proceso de Permisos de Construcción y Ubicación, Planta de Tratamiento de Bosques de Santa Ana.

El nivel socio-económico de esta urbanización, se considera medio-alto. En donde las casas, rondan valores aproximados a los 45 millones de colones, actualmente. En la fotografía 6-1 se pueden ver algunas de las casa que se encuentran en la urbanización.



**Fotografía 6-1:** Casas de la urbanización Bosques de Santa Ana.

### 6.2.3 Descripción de la planta de tratamiento

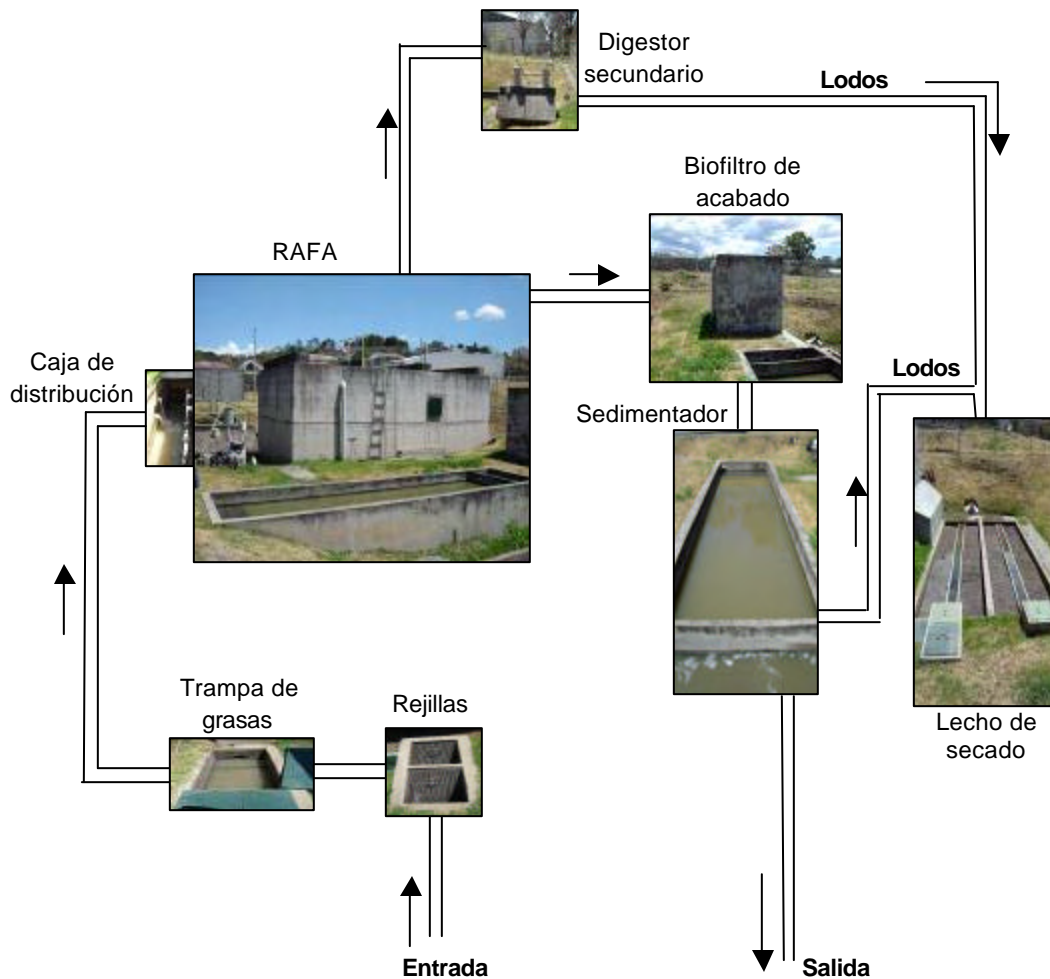
La planta de tratamiento con que cuenta, consiste en un sistema anaerobio, el cual funciona mediante un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA). Todas las estructuras están construidas en concreto reforzado.



**Fotografía 6-2:** Vista general de la PTAR de Bosques de Santa Ana

El proceso que sigue el agua residual desde la entrada hasta la salida de la planta, se describe de la siguiente manera: el agua llega por gravedad hasta la planta, ingresa a través de la cámara con rejillas; luego pasa a la trampa de grasas, de aquí se dirige hacia la caja de distribución en donde es impulsada mediante bombeo hasta la parte alta del tanque. Aquí, es distribuida mediante unos tubos y baja al fondo del reactor anaerobio en donde sube por gravedad, es recolectada en canaletas en la parte superior del reactor y posteriormente pasa al biofiltro de acabado. La etapa final del proceso se da en el sedimentador.

Para comprender de una forma sencilla este proceso, se puede visualizar fácilmente en el siguiente diagrama de funcionamiento.



**Figura 6-1:** Diagrama de funcionamiento de la PTAR de Bosques de Santa Ana



Las unidades de tratamiento con que cuenta esta planta son las siguientes:

- Cámara de entrada con rejillas
- Trampa de grasas
- Caja de distribución
- Reactor anaerobio
- Digestor secundario
- Biofiltro
- Sedimentador simple
- Lecho de lodos

Cada una de las unidades de tratamiento se describe a continuación.

### **6.2.3.1 Cámara de entrada con rejillas**

Consiste en una estructura diseñada para retener los sólidos que provienen de un proceso normal y así evitar que estos ingresen a la zona de tratamiento secundario e impidan su buen funcionamiento. Consta de dos compartimentos consecutivos, cada uno con una rejilla vertical construida con varilla de acero estructural número tres, en donde se acumula basura y sólidos de mayor tamaño, los cuales son retirados manualmente. Las rejillas se encuentran en buen estado, no se encontraron grietas ni fugas en la estructura de concreto.



**Fotografía 6-3:** Cámara de entrada con rejillas en la PTAR de Bosques de Santa Ana

### 6.2.3.2 *Trampa de grasas*

Es una estructura diseñada para retener el máximo de flotantes, en donde destacan sólidos suspendidos, grasas y aceites, esta cámara se puede ver en la fotografía 6-4. Los desechos que se acumulen en esta sección, también son retirados de forma manual. Las tapas son metálicas y se encuentran en buenas condiciones, la estructura no presenta problemas de fisuras ni fugas.



**Fotografía 6-4:** Trampa de grasas en la PTAR de Bosques de Santa Ana

### 6.2.3.3 *Caja de distribución*

Es la cámara en donde se distribuye el agua residual uniformemente al sistema de bombeo, ésta se puede ver en la fotografía 6-5a. El agua es impulsada mediante un sistema de bombeo, a través de tubos de PVC hasta la parte alta del reactor, como se muestra en la fotografía 6-5b, y luego distribuida nuevamente para que baje y suba uniformemente por el reactor anaerobio. Las bombas están sumergidas, se encuentran en buenas condiciones. Las tuberías no presentan daños.



**Fotografía 6-5:** a) Caja de distribución para el sistema de bombeo. b) Distribución en la parte alta del Reactor, PTAR de Bosques de Santa Ana

### 6.2.3.4 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

Consiste en un tanque rectangular de 216 m<sup>3</sup>, construido con concreto estructural, como se muestra en la fotografía 6-6. Posee dos compartimientos físicos: el de digestión en la parte inferior, donde se localiza el manto de lodos y el de sedimentación en la parte superior, conformado por paredes inclinadas que producen la sedimentación de partículas sólidas. No se presentan fisuras ni fugas en el tanque.



**Fotografía 6-6:** RAFA de la PTAR de Bosques de Santa Ana

El líquido tratado es recolectado en canaletas localizadas en la parte superior del reactor y dirigido hacia el biofiltro de acabado, éstas no presentan daños físicos. Además, para establecer el nivel, controlar y tomar muestras del manto de lodos, el reactor cuenta con tuberías de muestreo y sus respectivas válvulas de control, las cuales están funcionando correctamente. En las siguientes fotografías se pueden apreciar las canaletas para la recolección del agua tratada así como la cámara de válvulas de control.



**Fotografía 6-7:** a) Canaleta de recolección en la parte superior. b) cámara de válvulas de control, PTAR de Bosques de Santa Ana

Los gases generados son captados y disueltos en agua en las campanolas, luego conducidos hasta la atmósfera. El sistema no cuenta con almacenamiento de gases, ni con un sistema de combustión.

#### **6.2.3.5 *Digestor secundario***

Consiste en un digestor de pulimiento de lodos del reactor anaerobio, en donde se lleva a cabo una mayor digestión de los lodos, reduciendo así el volumen de los mismos y la cantidad de materia orgánica que poseen. El gas producido en esta etapa es recolectado y disuelto en el agua de las campanolas y conducido hasta la atmósfera. Los bodos provenientes del RAFA se bombean a ésta unidad, pero no se retienen aquí como debería ser, sino que se pasan directamente al lecho de secado. La estructura se encuentra en buenas condiciones.



**Fotografía 6-8:** Digestor Secundario, PTAR de Bosques de Santa Ana

#### **6.2.3.6 *Biofiltro de acabado***

Es un tanque cuadrado, relleno de piedra con una granulometría definida, el cual se encarga de recibir el agua proveniente del Reactor Anaerobio y brindarle un tratamiento adicional. Es un sistema de flujo descendente, en donde el agua ingresa por la parte superior y pasa luego por el filtro de piedra. En el filtro, la superficie del relleno de piedra se va cubriendo de masa biológica, la cual poco a poco va creciendo hasta llegar a un grosor determinado, luego se desprende y dejando nuevamente libre la superficie. Este



proceso se da consecutivamente, de forma que los sólidos que se desprenden sean removidos en la estructura posterior. La distribución del agua en la parte superior del filtro es la correcta. La estructura de concreto se encuentra en buenas condiciones. En las siguientes fotografías, se puede observar esta unidad.



**Fotografía 6-9:** a) Biofiltro de acabado. b) Sistema de distribución en la parte superior, PTAR de Bosques de Santa Ana

### 6.2.3.7 *Sedimentador simple*

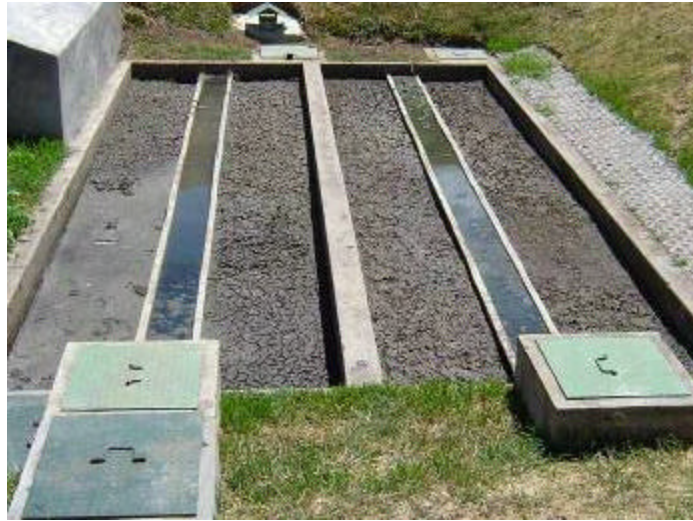
Esta estructura se encarga de retener los sólidos generados en el biofiltro de acabado y de evitar que lleguen hasta el río. Los sólidos retenidos aquí son enviados cada 22 días al lecho de secado, el agua que sale del sedimentador es vertida directamente hacia el río. El sedimentador se encuentra en buenas condiciones, no presenta fisuras ni fugas. Esta es la última etapa del proceso de limpieza del agua.



**Fotografía 6-10:** Sedimentador simple, PTAR de Bosques de Santa Ana

### 6.2.3.8 *Lecho de secado*

Esta estructura recibe periódicamente la evacuación de los lodos provenientes del digestor secundario, del sedimentador simple y en menor medida del biofiltro de acabado. Los líquidos del trasiego, son también evacuados conjuntamente con el lodo. Aquí deben dejarse los lodos hasta que se sequen completamente y de forma natural al aire libre. Una vez que los lodos se encuentran secos, son retirados manualmente y colocados en distintos sectores dentro de la propiedad. La estructura se encuentra en buenas condiciones y la capa de arena cuenta con el espesor correcto, superior a 5 cm.



**Fotografía 6-11:** Lecho de secado, PTAR de Bosques de Santa Ana

## 6.3 PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT

### 6.3.1 Ubicación general

La urbanización se encuentra localizada a 100 m. sur de la iglesia católica de Barrio La Lía, en el cantón de Curridabat, San José.

La planta de tratamiento se encuentra en el costado oeste de la propiedad. Ésta cumple con el reglamento N° 31545-S-MINAE, respecto a la ubicación del sistema. La planta cuenta con acceso mediante calle asfaltada.

El cuerpo receptor de las aguas tratadas es el río Tiribí. En la fotografía 6-12 se puede ver el sitio de desagüe de la planta. Es importante mencionar que la contaminación del río hasta este punto es notable y se puede apreciar tanto en el color como en el olor del agua del río, así como en la cantidad de desechos sólidos que están a las márgenes y los que son arrastrados.

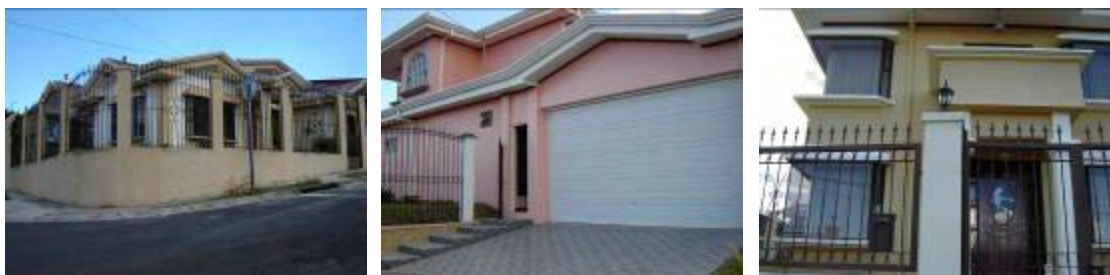


**Fotografía 6-12:** Lugar de descarga de la PTAR de Lomas de Curridabat.

### 6.3.2 Descripción de la urbanización

Esta urbanización se llama Lomas de Curridabat. Actualmente, se encuentra completamente construida y cuenta con un total de 115 casas.

El nivel socio-económico en la urbanización es de clase media-alta. Aquí se pueden encontrar casas de diferentes tamaños y acabados. Los valores promedios de estas casas rondan los 35 millones de colones, actualmente. En las siguientes fotografías se pueden ver algunas de las casas construidas en el residencial.



**Fotografía 5-13:** Casas de la urbanización Lomas de Curridabat.

Debido a una topografía irregular del terreno donde se construyó la urbanización y a las fuertes pendientes en algunos sitios, la compañía constructora encargada determinó que para solucionar el problema de aguas residuales domésticas, no era apropiado el uso convencional de tanques sépticos y drenajes. Esto se debe a la alta probabilidad de que existan afloramientos de un lote a otro por las diferencias de nivel. Por este motivo, se diseñó y construyó en la urbanización el sistema de tratamiento actual.



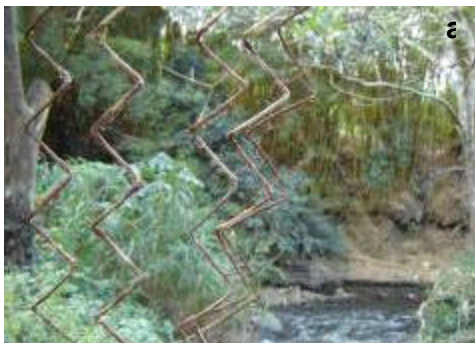
### 6.3.3 Descripción de la planta de tratamiento

Esta planta consiste en un sistema de tratamiento anaerobio, el cual funciona mediante un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Todas las estructuras de la planta están construidas con concreto reforzado. No se encontraron fisuras ni fugas en las estructuras.



**Fotografía 6-14:** Vista general de la PTAR, Lomas de Curridabat.

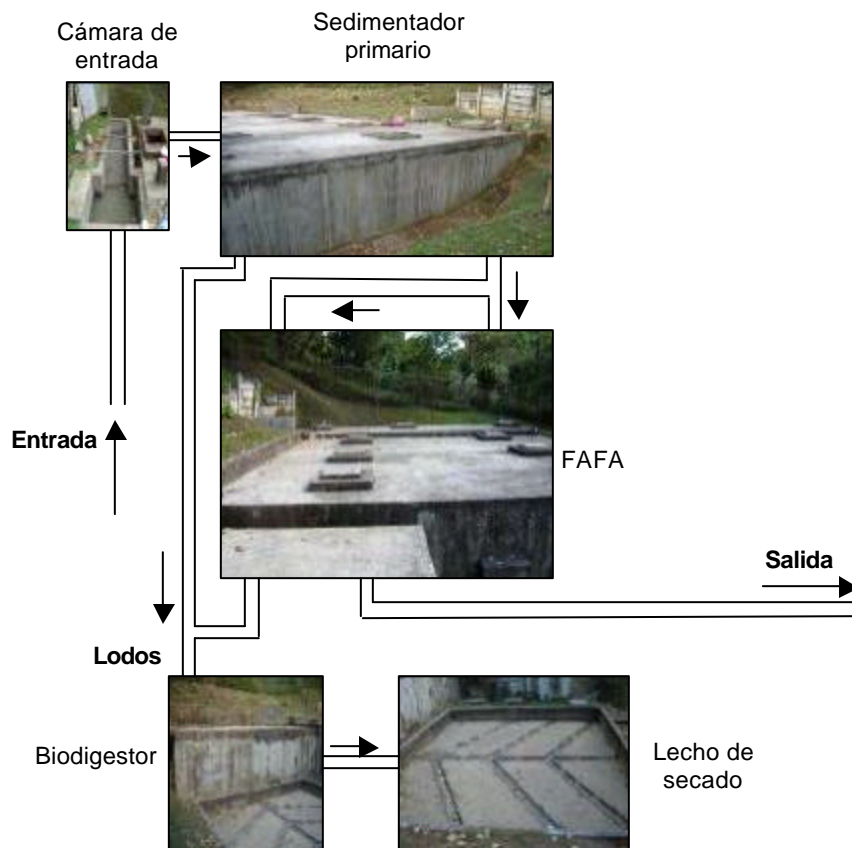
Existe una malla perimetral que separa la planta del resto del residencial; sin embargo, está seriamente dañada por la corrosión en varias partes. El sector que presenta más daños es la parte aledaña al punto de salida del agua tratada. Además, actualmente la entrada principal a la planta no cuenta con un candado o dispositivo de seguridad que restrinja el acceso, por lo que cualquier persona puede entrar al sitio en cualquier momento. Esto se constató en una de las visitas a la planta, en donde dos niños de alrededor de 12 años se encontraban jugando dentro de la propiedad. En las siguientes fotografías, se pueden observar algunos de los daños en la malla, así como los niños jugando dentro de la planta.



**Fotografía 6-15:** a) Corrosión en uno de los sectores de la malla perimetral.  
b) Niños jugando en la planta y alrededores.

El proceso que sigue el agua residual desde la entrada hasta la salida de la planta de tratamiento, se puede describir de la siguiente manera: el agua llega por gravedad hasta la planta, pasa por la caja de entrada y de aquí al sedimentador primario; posteriormente llega hasta el FAFA, una vez que pasa por éste filtro, el agua es dirigida al río y finaliza el proceso. También, cuenta con el biodigestor y el lecho de secado, estas unidades son utilizadas para el proceso que se le da a los lodos. El sistema funciona completamente por gravedad. Posteriormente, se hablará de cada una de estas unidades con más detalle.

Para comprender de una forma sencilla este proceso, se puede visualizar fácilmente en el siguiente diagrama de funcionamiento.



**Figura 6-2:** Diagrama de funcionamiento de la PTAR de Lomas de Curridabat

Las unidades de tratamiento con que cuenta esta planta son las siguientes:

- Cámara de entrada
- Sedimentador primario
- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)
- Biodigestor
- Lecho de secado

Cada una de las unidades de tratamiento se describe a continuación.

### 6.3.3.1 *Cámara de entrada*

Consiste en una estructura diseñada para retener los sólidos que provienen de la urbanización y así evitar que estos ingresen a la zona de tratamiento secundario e impidan su buen funcionamiento. Esta cámara consta de un sector en donde son retenidos gran parte de los sólidos flotantes y grasas. Además, cuenta con unas rejillas colocadas en el tubo que da al sedimentador primario, éstas se encuentran en buenas condiciones.



**Fotografía 6-16:** Caja de entrada, PTAR de Lomas de Curridabat

Aquí el material flotante, el retenido en las rejillas y una parte que sedimenta en la cámara son retirados de forma manual. Estos desechos son enterrados dentro del área de la planta.

En todas las visitas se encontró gran cantidad de sólidos y material flotante en esta unidad, los cuales generan muy malos olores.

### 6.3.3.2 *Sedimentador primario*

Consiste en un tanque de 87 m<sup>3</sup> construido con concreto estructural. Su función es dar al agua el tiempo necesario para que casi la totalidad de los sólidos sedimentables y suspendidos decanten en el fondo de la unidad. Así mismo, esta unidad retiene material flotante que halla podido pasar por la cámara de entrada.

La estructura no presenta fisuras ni fugas y las válvulas se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo, el operador nunca ha realizado la purga de esta unidad.

### 6.3.3.3 *Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente*

Es un tanque construido con concreto estructural, en donde el volumen del medio filtrante es de 126 m<sup>3</sup>. El agua pasa del sedimentador primario a un sistema de tuberías en donde se distribuye en la parte baja del FAFA, posteriormente sube por gravedad hasta la parte alta y de aquí es dirigida hacia el punto de salida. La estructura no presenta fisuras ni fugas.

Para el filtro, se utiliza una batería en paralelo de dos unidades. En cada una de ellas, existe un medio filtrante en donde los microorganismos se fijan para dar el acabado final al agua residual. Esta estructura se encuentra cerrada y cuenta con 6 compuertas metálicas para inspección, estas funcionan bien, aunque presentan indicios de corrosión.



**Fotografía 6-17:** FAFA, PTAR de Lomas de Curridabat.

El filtro cuenta con un sistema de válvulas, para realizar el retrolavado y la purga. Las válvulas se encuentran en buenas condiciones; sin embargo, la unidad nunca ha sido purgada por el operador.

#### **6.3.3.4 Biodigestor**

Es un tanque rectangular de concreto, con un volumen de 67 m<sup>3</sup>. Su función es la de recibir temporalmente los lodos generados en el sedimentador primario y el agua del retrolavado de los dos filtros. Aquí permanecen hasta que quedan mineralizados y listos para su deshidratación en el lecho de secado. La unidad cuenta con tres compuertas metálicas de inspección. La estructura se encuentra en buenas condiciones, no presenta fisuras ni fugas. Hasta la fecha esta unidad no ha sido utilizada debido a deficiencias en la operación del sistema.

#### **6.3.3.5 Lecho de secado**

Esta estructura recibe periódicamente la evacuación de los lodos provenientes del biodigestor. Aquí deben dejarse los lodos hasta que se sequen completamente y de forma natural, al aire libre. Una vez que los lodos se encuentren sin humedad pueden ser retirados y dispuestos adecuadamente, dentro de la propiedad. Este lecho de secado de lodos tiene un área disponible de 60 m<sup>2</sup>. Como se muestra en la figura 6-18, la estructura se encuentra en muy buenas condiciones; esto se debe a que nunca ha sido utilizada desde su construcción.



**Fotografía 6-18:** Lecho de secado, PTAR de Lomas de Curridabat.



## 6.4 PLANTA DE CIUDAD DE ORO

### 6.4.1 Ubicación general

La urbanización se encuentra localizada en el distrito de Agua Caliente del cantón central de Cartago, frente al supermercado el Palí de la Pitahaya.

La planta de tratamiento se encuentra en el costado sur de la propiedad. Ésta cumple con el reglamento N° 31545-S-MINAE, respecto a la ubicación del sistema. Cuenta con acceso permanente mediante calle asfaltada. En la siguiente fotografía, se presenta una vista general de esta planta.



**Fotografía 6-19:** Planta de Tratamiento de Ciudad de Oro.

La planta desagua a una quebrada, de la cual no se pudo establecer su nombre. Esta quebrada desemboca muy cerca al río Aguas Calientes. Es importante mencionar que la descarga no se hace directamente a la quebrada mediante un sistema de tubería, sino que las aguas salen de la planta hasta cierto punto y de ahí en adelante escurren naturalmente hasta llegar al cuerpo receptor. Es necesario colocar un tubo para trasladar las aguas directamente desde la planta hasta la quebrada.

### 6.4.2 Descripción de la urbanización

Esta urbanización se llama Residencial Ciudad de Oro. Actualmente, cuenta con un total de 380 casas. El nivel socio-económico en la urbanización es de clase media. Aquí se pueden encontrar casas de diferentes tamaños y acabados. Los valores promedios de estas casas rondan los 15 millones de colones, actualmente. En las siguientes fotografías, se pueden ver algunas de las casas construidas en el residencial.



**Fotografía 6-20:** Casas de la urbanización Ciudad de Oro.

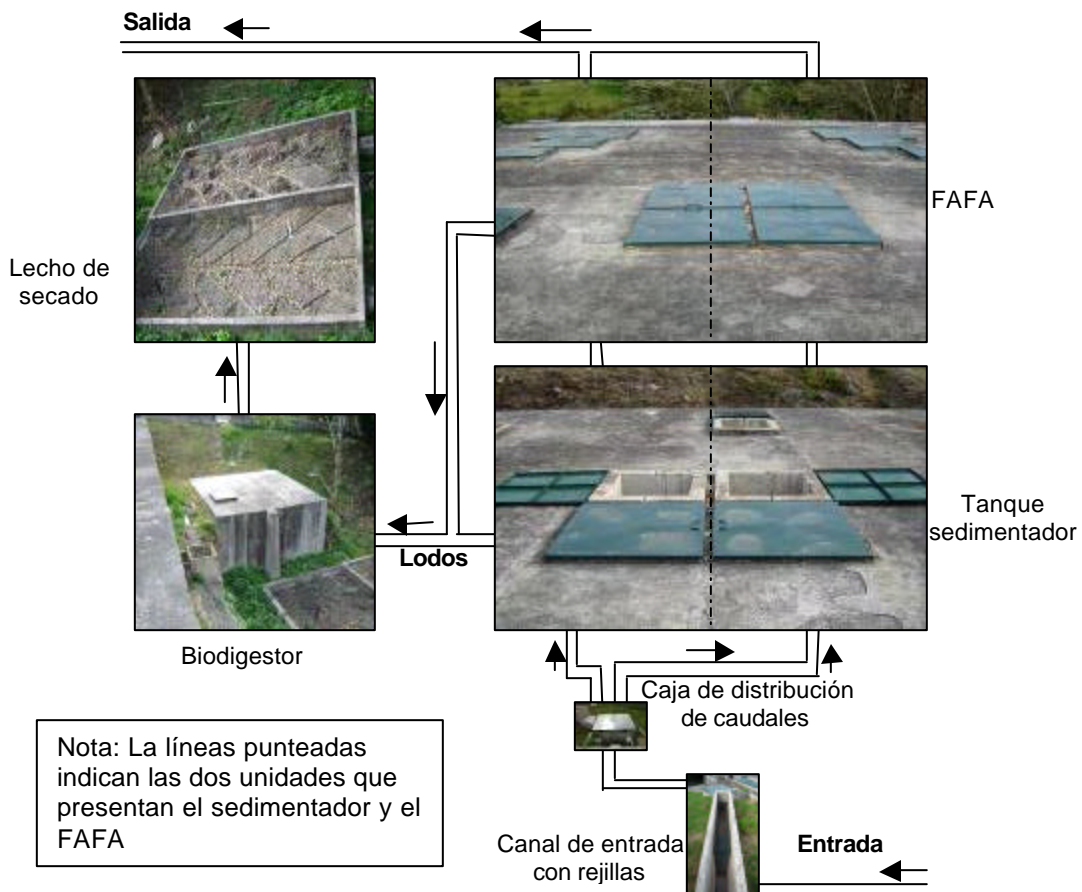
Es importante citar, que el proceso de tratamiento inicia desde la salida de cada casa. Para esto, el residencial está dotado de una trampa de grasas en la salida de cada vivienda, el objetivo es evitar que lleguen al sedimentador grasas y aceites en exceso. La trampa de grasas está provista de tapaderas metálicas para impedir el acceso de agua de lluvia y permitir una fácil manipulación durante las labores de limpieza, el fondo de la trampa de grasas es de concreto. Sin embargo, no se sabe si se realizan las labores de mantenimiento de estas unidades.

### 6.4.3 Descripción de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento con que cuenta el residencial Ciudad de Oro, consiste en un sistema anaerobio, el cual funciona mediante un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Todas las estructuras están construidas en concreto reforzado. Está cercada con una malla perimetral; sin embargo, en la parte baja de la planta, cerca de la zona de salida del agua, está considerablemente dañada, por lo que personas particulares pueden ingresar a la propiedad.

El proceso que sigue el agua residual, desde la entrada hasta la salida de la planta de tratamiento, se puede describir de la siguiente manera: el agua llega por gravedad hasta la planta, ingresa a través de un canal de acceso con rejillas, luego pasa al tanque sedimentador y posteriormente es dirigida hacia el FAFA, en donde finaliza el proceso de tratamiento. El tanque sedimentador y el FAFA están conectados directamente con el Biodigestor, cada vez que es necesario, los lodos generados en estos dos procesos son enviados al biodigestor y aquí permanecen un tiempo determinado, hasta que son degradados, después son enviados al lecho de secado y posteriormente dispuestos en un sitio apropiado dentro de la propiedad.

Para comprender de una forma sencilla este proceso, se puede visualizar fácilmente en el siguiente diagrama de funcionamiento.



**Figura 6-3:** Diagrama de funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Ciudad de Oro



Las unidades de tratamiento con que cuenta esta planta son las siguientes:

- Canal de entrada con rejillas
- Caja de distribución
- Sedimentador
- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)
- Biodigestor
- Lecho de lodos

Cada una de las unidades de tratamiento se describe a continuación.

#### **6.4.3.1 Cámara de entrada con rejillas**

Consiste en una estructura diseñada para retener los sólidos que puedan provenir de un proceso normal y así evitar que estos ingresen a la zona de tratamiento e impidan el buen funcionamiento del sistema. Consta de un canal de aproximadamente 4 m. de longitud, con una rejilla vertical y horizontal construida a partir de varilla de acero estructural número tres, en donde se acumula basura y sólidos de mayor tamaño, que son retirados manualmente. Las rejillas se encuentran en buenas condiciones, no presentan corrosión ni quebraduras. La estructura de concreto no tiene fisuras ni fugas.



#### **6.4.3.2 Caja de distribución**

Es una cámara en donde se distribuye el agua residual uniformemente al tanque de sedimentación, ésta unidad se encuentra en buenas condiciones. Aquí se acumulan regularmente, pequeñas cantidades de sólidos y grasas, las cuales son removidas manualmente por el operador de la planta.

### **6.4.3.3 Tanque sedimentador**

Consiste en dos unidades de sedimentación en paralelo, construidas con concreto. El volumen del sedimentador es de 227 m<sup>3</sup>, el cual permite asimilar los picos de caudal que ingresan a la planta, el objetivo es amortiguar la carga orgánica que ingresa al FAFA y no afectar su funcionamiento.

El sistema de sedimentación es de flujo ascendente, cada unidad tiene tres puntos de alimentación en la parte inferior, para distribuir el caudal de forma uniforme. El diseño del sedimentador es de tipo convencional; sin embargo, para favorecer el proceso de sedimentación, se le colocaron dos pantallas deflectoras para desviar la trayectoria de las partículas en suspensión que son arrastradas hacia arriba, por la acción de los gases derivados de la descomposición de la materia orgánica.

La estructura de concreto se encuentra en buenas condiciones, no se encontraron fisuras ni fugas. Sin embargo, las válvulas que permiten realizar la purga, se encuentran en mal estado, lo que impide realizar esta operación. Para reducir este problema, el operador retira todo el material posible, mediante el uso del pascón.

### **6.4.3.4 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**

Es un tanque construido con concreto estructural, en donde el volumen del medio filtrante es de aproximadamente 120 m<sup>3</sup>. El agua pasa del sedimentador a un sistema de tuberías, en donde es distribuida en la parte baja del FAFA, aquí el agua sube por gravedad hasta la parte alta y de aquí es dirigida hacia el punto de salida.

Para el filtro, se utilizan dos unidades en paralelo, que son alimentadas directamente del tanque sedimentador. En cada una de ellas existe un medio filtrante en donde los microorganismos se fijan para dar el acabado final al agua residual. Esta estructura se encuentra cerrada y cuenta con varias compuertas para inspección.

Las superficies de concreto, no presentan fisuras ni fugas. Sin embargo, la unidad cuenta con el mismo problema que el tanque sedimentador, una obstrucción de las válvulas para la purga. El operario trata de realizar la limpieza, usando el pascón.

#### **6.4.3.5 Biodigestor**

Es un tanque rectangular de concreto, con un volumen de aproximadamente 83 m<sup>3</sup>. Su función es la de recibir temporalmente los lodos generados en el sedimentador primario y el agua del retrolavado de los dos filtros. Los objetivos que se buscan en este proceso son el de disminuir el volumen de lodo, descomponer la materia orgánica biodegradable hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes y por último lograr la destrucción de los microorganismos del lodo. Aquí permanecen cierto tiempo, hasta que quedan mineralizados y listos para su deshidratación en el lecho de secado. Esta unidad tiene una tubería para evacuar el rebalse al lecho de secado.

Actualmente, los lodos del sedimentador y el FAFA, no pueden llegar a esta unidad, debido a los problemas descritos anteriormente. Además, según el operario de la planta, esta unidad presenta fisuras por donde se escapa el agua; sin embargo, esto no se pudo verificar en las visitas realizadas.

#### **6.4.3.6 Lecho de secado**

Esta estructura, recibe periódicamente la evacuación de los lodos provenientes del sedimentador y del FAFA. Debido a los problemas del sistema, la descarga de lodos se hace manual. Aquí deben dejarse los lodos hasta que se sequen completamente. Una vez que los lodos se encuentren libres de humedad, son retirados y dispuestos dentro de la propiedad.

La estructura se encuentra en buenas condiciones, aunque la capa de arena es más pequeña de lo recomendado. Para las condiciones actuales, el espesor de arena puede filtrar bien el agua vertida; pero, una vez que las válvulas del sistema sean arregladas y que la purga se pueda realizar correctamente, debe colocarse una capa de arena mayor.



En la fotografía 6-22, se presenta el lecho de secado de lodos de la planta; además, se muestra al operario depositando sólidos removidos del sedimentador y de la cámara de entrada.

## 6.5 PLANTA DE VILLAS DEL SOL

### 6.5.1 Ubicación general

La urbanización se encuentra localizada en el distrito de San Francisco del cantón central de Cartago, a 200 m. al este del Palí de la Pitahaya.

La planta de tratamiento se encuentra en el costado noreste de la propiedad. Ésta cumple con el reglamento N° 31545-S-MINAE, respecto a la ubicación del sistema. Además, tiene acceso permanente a través de calle asfaltada.

La planta desagua hacia la Quebrada Molino. En la fotografía 6-23, se puede ver el sitio de desagüe de la planta. En esta fotografía se nota claramente, el grado de contaminación que presenta el río hasta este punto. Durante todas las visitas, las aguas de la quebrada presentaba un color oscuro y mal olor, producto de la contaminación; además, se encontró gran cantidad de basura en las márgenes.



**Fotografía 6-23** Lugar de descarga de la PTAR de Villas del Sol.

### 6.5.2 Descripción de la urbanización

Esta urbanización se llama Villas del Sol. Ya se encuentra construida, aunque no en su totalidad, esto porque se encuentran lotes baldíos en algunos sectores. Actualmente, cuenta con un total de 150 casas.

El nivel socio-económico en la urbanización es de clase media, con casas de diferentes tamaños y acabados. Los valores promedios de estas casas rondan los 15 millones de colones, actualmente. En las siguientes fotografías, se presentan algunas de las casas construidas en la urbanización.



**Fotografía 6-24:** Casas de la urbanización Villas del Sol.

### 6.5.3 Descripción de la planta de tratamiento

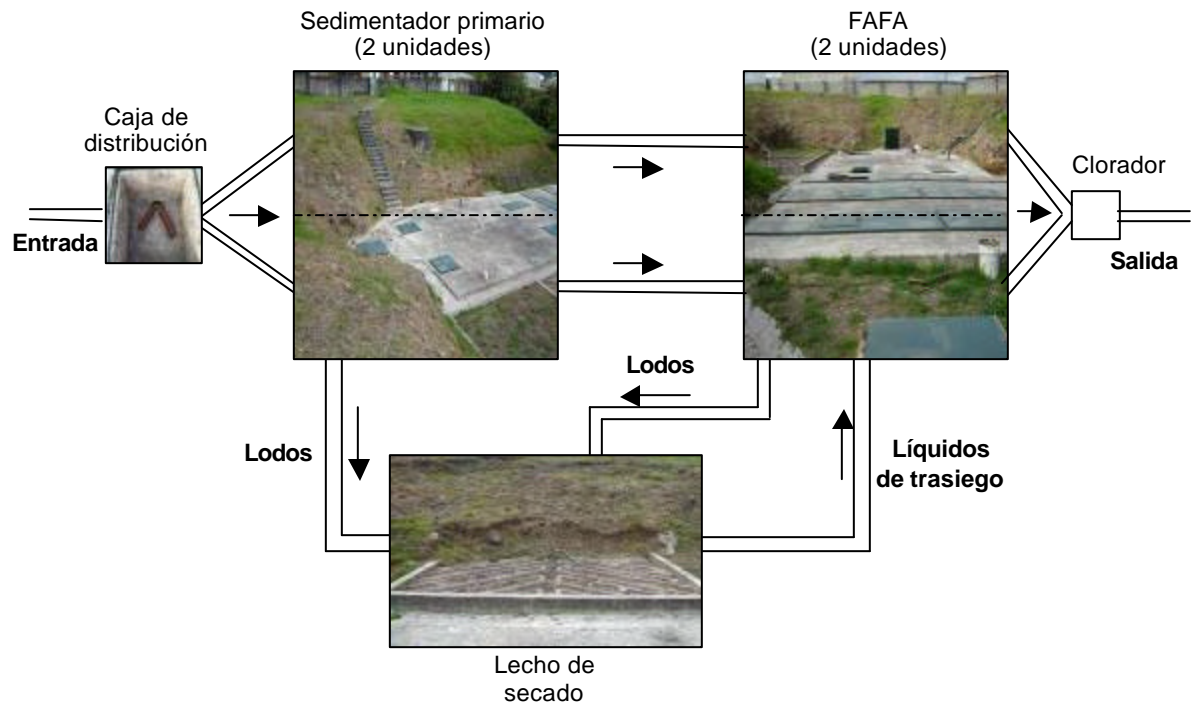
La planta de tratamiento con que cuenta esta urbanización consiste en un sistema anaerobio, el cual funciona mediante un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Todas las estructuras están construidas en concreto reforzado.



**Fotografía 6-25:** Vista general de la planta de tratamiento De Villas del Sol

Como se muestra en la anterior fotografía, la planta está construida bajo el suelo, de manera que sólo la parte superior es visible. El proceso que sigue el agua residual desde la entrada hasta la salida de la planta de tratamiento puede resumirse así: el agua llega por gravedad hasta la planta, ingresa a través de la cámara de distribución en donde se divide el caudal de forma uniforme hacia las dos unidades del sedimentador primario, de aquí se dirige hacia el FAFA y por último pasa por una caja de cloración, la cual no está siendo utilizada actualmente. Además, cuenta con un lecho de secado a donde son enviados los lodos.

Para comprender de una forma sencilla este proceso, se puede visualizar fácilmente en el siguiente diagrama de funcionamiento.



**Figura 6-4:** Diagrama de funcionamiento de la PTAR de Villas del Sol



Las unidades de tratamiento con que cuenta esta planta y se visualizaron en el esquema anterior son las siguientes:

- Caja de distribución
- Sedimentador primario
- FAFA
- Clorador
- Lecho de secado

Cada una de las unidades de tratamiento se describe a continuación.

### **6.5.3.1 Caja de distribución**

La digestión biológica se lleva a cabo en dos sedimentadores primarios y dos FAFA, ambos en paralelo. Por lo tanto, es necesario realizar la distribución del caudal hacia cada unidad, función realizada por esta caja. La distribución se lleva a cabo de forma muy sencilla, como se muestra en la siguiente fotografía.



**Fotografía 6-26:** Caja de distribución, planta de tratamiento de Villas del Sol

El agua cruda llega desde la urbanización, por un tubo de PVC, hasta la caja de distribución, aquí se encuentra con una bifurcación en donde el caudal se divide y es dirigido por dos tubos hacia el siguiente proceso. Es importante indicar que la división de caudal no es necesariamente uniforme, puesto que el dispositivo no está regulado para este propósito; además, eventualmente se puede obstruir uno de los accesos y con esto disminuir su capacidad.

### **6.5.3.2 Sedimentador primario**

Son dos tanques de concreto reforzado con una capacidad de 90 m<sup>3</sup> cada uno. El sistema funciona con dos unidades en paralelo. Este volumen permite asimilar los picos de caudal que ingresan a la planta, con el objetivo de amortiguar la carga orgánica que ingresa al FAFA y no afectar su funcionamiento.

La función de esta unidad, es dar al agua el tiempo necesario para que casi la totalidad de los sólidos sedimentables y una gran parte de los sólidos suspendidos decanten en el fondo. Además, se encarga de retener gran parte de las grasas y aceites.

La estructura se encuentra en buenas condiciones, no se presentan fisuras ni fugas. Sin embargo, la purga del sedimentador, no se puede realizar correctamente, debido a limitaciones con el diseño del sistema. No se cuenta con la infraestructura necesaria para realizar el mantenimiento adecuado de esta unidad. La planta no tiene los servicios básicos de agua y electricidad, por lo que no es posible instalar un sistema de bombeo que permita purgar el sistema. Para reducir este problema, el operador retira todo el material posible, mediante el uso del pascón.

### **6.5.3.3 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**

Es un tanque de sección rectangular construido con concreto estructural, en donde el volumen del medio filtrante es de aproximadamente 80 m<sup>3</sup>. El agua pasa del sedimentador primario a un sistema de tuberías, en donde es distribuida en la parte baja del FAFA, aquí el agua sube por gravedad hasta la parte alta y luego es dirigida hacia el punto de salida.

Para el filtro se utiliza dos unidades en paralelo, que son alimentadas directamente del sedimentador primario. En cada una de ellas existe un medio filtrante, que en este caso es piedra tercera, en donde los microorganismos se fijan para dar el acabado final al agua residual. Esta estructura se encuentra cerrada y cuenta con varias compuertas metálicas para inspección. La estructura de concreto y las compuertas se encuentran en buenas condiciones.

Esta unidad, presenta las limitaciones de purga descritas anteriormente. Por lo tanto, el operador retira todo el material posible, mediante el uso del pascón, para tratar de reducir el problema.



#### **6.5.3.4 Clorador**

Como se mencionó anteriormente, las aguas tratadas en el sistema son vertidas a la Quebrada el Molino, la cual es utilizada para riego de hortalizas aguas abajo. Por tal motivo, se incluyó en el diseño de la planta el clorador, su objetivo es el de garantizar la calidad bacteriológica de efluente.

En esta unidad, se debe proporcionar al agua tratada la dosis de cloro necesaria para eliminar prácticamente la totalidad de los microorganismos patógenos presentes, y de este modo poder utilizar luego el agua. Sin embargo, en las visitas a la planta se constató que el sistema de cloración no está funcionando, únicamente trabaja como caja de registro, en donde son removidos los últimos sólidos que logran atravesar el FAFA.

#### **6.5.3.5 Lecho de secado**

Esta estructura recibe periódicamente la evacuación de los lodos provenientes del sedimentador primario y el FAFA, aunque esta evacuación se realiza de forma manual. Aquí se dejan los lodos hasta que se sequen completamente al aire libre. Una vez que los lodos se encuentren libres de humedad son retirados y dispuestos dentro de la propiedad. Los lixiviados son conducidos por gravedad hacia el FAFA.

La unidad, presenta endurecimiento de la capa de arena, ésta debe ser aflojada siempre antes de realizar un vertido de material. La estructura de concreto, se encuentra en buenas condiciones.

**CAPÍTULO 7:**  
**OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO**

Para realizar una adecuada evaluación de los procesos operativos de cada planta de tratamiento, es necesario conocer de forma precisa la operación del sistema así como la calidad del agua tratada. Para esto, se llevó a cabo un control de las actividades realizadas en cada planta durante las visitas y se complementó con una encuesta detallada, realizada a cada operador. También, se cuenta con varios análisis de laboratorio, algunos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y otros suministrados por uno de los operadores. Los resultados de las pruebas de laboratorio se pueden encontrar en el anexo B y las encuestas realizadas en el anexo C. A continuación, se describe cada proceso y sus resultados.

## **7.1 PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA**

### **7.1.1 Aspectos generales sobre el operario**

El operario de la planta tiene seis meses de trabajar en el lugar, vive en la misma planta, por lo que realiza las labores de operación, mantenimiento y vigilancia todos los días. La capacitación previa fue realizada por el operario anterior, quien le enseñó los aspectos generales del funcionamiento y operación de la planta.

A pesar de que hay un ingeniero encargado del sistema, no recibe indicaciones específicas sobre la operación del sistema por parte de nadie. Sin embargo, el ICAA solicitó recientemente un control de pH, temperatura y sólidos sedimentables, por lo que se están midiendo estos parámetros actualmente.

Es importante mencionar, que el operario no sabe qué son los reportes operacionales, ni para que sirven, por lo que tampoco está al tanto de si se realizan en la planta.

## 7.1.2 Operación del sistema

### 7.1.2.1 Aspectos positivos

Los aspectos positivos sobre la operación del sistema son los siguientes:

Se limpian las rejillas de entrada una vez al día, en la mañana, todos los días. La trampa de grasas y flotantes se limpia dos veces por semana, en horas de la mañana también. Los sólidos y flotantes recolectados en estas dos unidades son depositados en un hueco en la tierra dentro de la propiedad, éste se encuentra destapado y cada vez que se colocan residuos se pone una pequeña capa de tierra encima, una vez que el hueco está lleno se tapa y se abre otro.

Se realiza la purga del sedimentador, cada 20 a 25 días aproximadamente. Los lodos purgados, son enviados al lecho de secado.

El reactor anaerobio se purga cada mes, aproximadamente. Para saber en que momento realizar la purga del sistema, el operador abre las válvulas de chequeo y revisa el estado del agua, en caso de que el agua salga muy negra, en determinadas válvulas, procede a realizar la purga. Cada vez que se purga, se lava el reactor con manguera. Además, se realiza la revisión de canales a menudo y se limpian adecuadamente en caso de que estén sucios.

Los elementos metálicos, tuberías y llaves son revisadas cada semana y se reparan en caso de que estén en mal estado. Se cambia el agua de las campanolas de recolección de gas cada vez que se purga el reactor.

Los lodos generados en el sistema, son depositados en el lecho de secado. Aquí se mantienen cinco días aproximadamente, dependiendo de las condiciones climáticas, y se retiran cuando se encuentran secos. Una vez que los lodos son retirados, la arena es acomodada nuevamente, para que el agua filtre bien. Los lodos secos son colocados dentro de la propiedad.

Se realizan mediciones de pH y sólidos sedimentables todos los días, en la entrada y la salida. Los datos registrados, son anotados en un cuaderno de registro.

El equipo de trabajo básico con que cuenta el operario de la planta se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 7-1.** Equipo de trabajo en la planta de Bosques de Santa Ana.

Pala	Mascarilla	Escalera	Pascón
Carretillo	Sacho	Manguera	Jabón en polvo
Guantes	Cubetas	Escobón	Cloro
Cuchillo	Llaves	Botas	Alcohol

Además de equipo de medición: Cono Imhoff para los sólidos sedimentables, indicadores de pH y termómetro.

### **7.1.2.2 Aspectos negativos**

Los aspectos negativos sobre la operación del sistema son los siguientes:

Actualmente, no hay una estructura para medir caudal, por lo que no se realiza este procedimiento.

La frecuencia con que se realiza la limpieza de la trampa de grasa es de dos días, esto puede producir que partículas flotantes y de grasa sobrepasen esta unidad y lleguen hasta el RAFA.

La acción de cambiar el agua de la camponolas es correcta, pero la frecuencia con que se realiza esta actividad no es suficiente. Esto genera malos olores en el sistema y alrededores.

El operador realiza la purga de lodos cuando el sedimentador comienza a oler mal y desprende burbujas. Este parámetro no es el correcto para realizar esta operación, por lo que la frecuencia de purga puede ser distinta a la que se realiza actualmente.

Los lodos provenientes de la purga del reactor, pasan al digestor de lodos y de inmediato son depositados en el lecho de secado. El digestor es una unidad de pulimiento, en donde el lodo termina de digerirse.

Según el ingeniero encargado, las únicas pruebas físico-químicas que se realizan en la planta son las indicadas en el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*, las cuales se sacan cada año, aproximadamente. Sin embargo, no se encontraron registros de reportes operacionales en el archivo del MINSA, tampoco se pudo establecer con claridad quienes son los encargados de llevar a cabo estas pruebas. El ingeniero también indicó, que no se realizan pruebas que permitan el adecuado monitoreo del sistema, tales como alcalinidad y ácidos grasos volátiles, para establecer la relación AGV / Alc en el reactor.

### 7.1.3 Pruebas de laboratorio

Los parámetros más representativos para la evaluación del sistema, se analizarán a continuación.

#### 7.1.3.1 Parámetros de control<sup>8</sup>

Para las mediciones de pH realizadas, se tiene que a las 7:00 a.m. llegan aguas con un pH superior al recomendado para el funcionamiento del sistema. Este incremento del pH se puede deber a que la mayoría de las aguas en ese momento provienen del uso del baño, por lo que presentan concentraciones elevadas de jabón, lo que puede provocar la variación. Sin embargo, los valores altos de pH son asimilados por el sistema y retornados a valores dentro del rango de funcionamiento óptimo. En el cuadro 7-2, se muestra como los valores pH en la entrada son asimilados y disminuidos.

**Cuadro 7-2.** Valores de pH, Bosques de Santa Ana.

pH	Fecha y hora			
	18/2/05, 7:00 a.m.	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.	10/2/05, 3:15 p.m.
Entrada	8,2	7,8	7,5	7,8
Salida	7,2	7,1	7,2	7,2

A partir de estas mediciones, se determina un valor promedio de 8.2% de reducción de pH en el sistema.

<sup>8</sup> El rango óptimo de los parámetros de control se presenta en el capítulo 4

Los valores promedio de temperatura en el sistema fueron de 26.1°C y 25.3°C en la entrada y la salida respectivamente. La temperatura de salida, es a la que se encuentra el agua dentro del reactor, ésta valor no es el óptimo para el funcionamiento del sistema, pero tampoco afectan de gran forma la eficiencia del sistema. Además, se mantiene dentro de lo establecido en el reglamento nacional.

En el cuadro 7-3 se muestran los valores de alcalinidad medidos a la salida de la planta, el valor promedio registrado en el sistema fue de 260 mg/L. Los valores se mantienen muy similares en las tres mediciones realizadas, lo que indica que no se presenta un consumo irregular en la alcalinidad. Una reducción drástica en este parámetro es un indicador de fallos en el sistema, debido a variaciones en la relación AGV/Alc.

**Cuadro 7-3.** Alcalinidad, Bosques de Santa Ana.

Alcalinidad	Fecha y hora		
	18/2/05, 7:00 a.m.	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.
Salida (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	246	282	252

Los valores de pH y alcalinidad medidos a la salida del sistema, se mantienen muy similares. Esto es un indicador de un buen funcionamiento del sistema.

### 7.1.3.2 *Parámetros para la eficiencia*

En cuanto a la eficiencia real del sistema, se puede determinar de dos formas. La primera es a través de la reducción en los sólidos suspendidos totales y la otra es mediante la remoción de la DBO<sub>5,20</sub>.

Los valores de sólidos suspendidos totales registrados se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-4.** Sólidos suspendidos totales, Bosques de Santa Ana.

SST	Fecha y hora		
	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.	10/2/05, 3:15 p.m.
Entrada (mg/L)	180	140	40
Salida (mg/L)	0	10	10
<b>Eficiencia</b>	<b>100,0</b>	<b>92,9</b>	<b>75,0</b>

La medición de las 7:00 a.m. fue desechada por inconsistencia en los resultados de laboratorio. Por lo tanto, la eficiencia se determina a partir de las demás mediciones. Con

base en estos valores, se determina una eficiencia promedio de 89,3% en la remoción de sólidos suspendidos totales. La eficiencia promedio registrada, está por encima de los valores teóricos (70%-80%). Además, se cumple la normativa establecida en el reglamento nacional, que establece un valor mínimo de 50 mg/L.

Los valores de DBO<sub>5,20</sub> registrados se presentan en el cuadro 7-5.

**Cuadro 7-5. DBO<sub>5,20</sub>, Bosques de Santa Ana.**

DBO <sub>5,20</sub>	Fecha y hora			
	18/2/05, 7:00 a.m.	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.	10/2/05, 3:15 p.m.
Entrada (mg/L)	270	200	230	190
Salida (mg/L)	86	93	81	68
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>68,1</b>	<b>53,5</b>	<b>64,8</b>	<b>64,2</b>

En cuanto a remoción de DBO<sub>5,20</sub>, se da una eficiencia promedio de 62.7%. Este valor se encuentra un poco bajo, con respecto a los valores teóricos (70%-80%). Se debe trabajar en este aspecto, hasta alcanzar los rangos teóricos de eficiencia. Si el sistema trabajara a una capacidad de 80% de eficiencia en la remoción de DBO, se sacaría el máximo aprovechamiento del sistema y se cumpliría con la normativa nacional (50 mg/L), en todas las mediciones.

Los valores de DQO registrados se presentan en el cuadro 7-6.

**Cuadro 7-6. DQO, Bosques de Santa Ana.**

DQO	Fecha y hora	
	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.
Salida (mg/L)	220	173

Con base en las mediciones de DQO, se puede establecer una correlación entre la DQO y la DBO<sub>5,20</sub> de 2,22 aproximadamente, para los valores de salida. Aunque ésta, no puede ser tomada como parámetro general para esta planta, debido a las pocas mediciones con que se estableció.



### 7.1.3.3 Parámetros de reportes operacionales

En el siguiente cuadro, se presentan los valores generados en los análisis realizados, que se incluyen en un reporte operacional.

**Cuadro 7-7.** Resultados generales de las pruebas realizadas en Bosques de Santa Ana.

	Salida				Norma
	18/2/05, 7:00 a.m.	23/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 1:10 p.m.	10/2/05, 3:15 p.m.	
pH	7,2	7,1	7,2	7,2	5 a 9
Temperatura	24	24	27	26	15°C = T = 40°C
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	20	0	10	10	50 mg/l
Sólidos Sedimentables (ml/l/hr)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1 ml/l
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	86	93	81	68	50 mg/l

Los resultados que se encuentran en naranja, son los que no cumplen con el reglamento nacional. En este caso, la DBO se pasa del límite en todas las mediciones realizadas; mientras que los demás parámetros se encuentran por debajo del límite.

Es importante indicar que, además de los parámetros que se indican en el cuadro 7-6, el reglamento regula el vertido de grasas y aceites. Sin embargo, esta prueba no fue realizada.

Los resultados específicos de las pruebas realizadas se presentan en el anexo B.

## **7.2 PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT**

### **7.2.1 Aspectos generales sobre el operario**

El operario de la planta tiene cinco años de trabajar en el lugar, desde que la planta comenzó a operar. Trabaja 50 horas por mes en la planta, las cuales se distribuyen en tres días por semana, esto se traduce en 11 horas por semana.

Cuando fue contratado para el puesto, el ingeniero encargado le dio las indicaciones generales de la operación del sistema. Conoce mucho de la configuración de la planta porque trabajó en la construcción de la misma. Recibe indicaciones generales por parte del ingeniero esporádicamente, pues considera que ya ha recibido todas las indicaciones pertinentes.

Al igual que el caso anterior, es importante mencionar que el operario tampoco sabe que son los reportes operacionales ni su utilidad. Sin embargo, indica que mensualmente vienen a tomar muestras aunque no sabe realmente para que sean, ni conoce que tipo de pruebas se realiza, ya que este tipo de información no se le comunica.

### **7.2.2 Operación del sistema**

#### **7.2.2.1 Aspectos positivos**

Los aspectos positivos sobre la operación del sistema son los siguientes:

Se limpia la cámara de entrada tres veces por semana, en la mañana. Se recogen los sólidos que sedimentan y flotantes, dispuestos en la cámara de entrada y en las rejillas. El material recolectado es depositado en un hueco que se encuentra dentro de la propiedad, éste se encuentra destapado y cada vez que se colocan residuos se pone una pequeña capa de tierra y hojas secas encima, una vez que el hueco está lleno se tapa y se abre otro nuevo.

El equipo de trabajo básico con que cuenta el operario de la planta se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 7-8.** Equipo de trabajo en la planta de Lomas de Curridabat.

Pala	Botas
Cubetas	Pascón
Guantes	Escalera
Cuchillo	Maquina cortadora de césped

### 7.2.2.2 Aspectos negativos

Es importante señalar que las actividades realizadas en el tratamiento primario, corresponden a aspectos positivos en la operación. Sin embargo, la frecuencia con que se realizan éstas actividades, no son correctas.

No se realizan mediciones de caudal, pH, temperatura ni sólidos sedimentables, en ninguna unidad. No se cuenta con el equipo necesario para realizar estas mediciones. Tampoco hay una estructura para realizar las mediciones de caudal en el sistema.

Los lodos generados en el sedimentador primario y en el FAFA no se han purgado nunca, desde la construcción del sistema, hace cinco años. El mantenimiento que se le brinda al FAFA consiste, únicamente, en abrir y cerrar las válvulas de control para que no se peguen.

Con respecto al biodigestor y al lecho de secados, no se les brinda ningún mantenimiento ya que nunca se han utilizado.

Según el ingeniero encargado, las únicas pruebas físico-químicas que se realizan en la planta son las indicadas en el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*, las cuales se sacan tres veces al año, aproximadamente. Sin embargo, al igual que en la planta anterior, no se encontraron registros de reportes operacionales en el archivo del MINSA y tampoco se pudo establecer quienes son los encargados de llevar a cabo estas pruebas. También indicó que no se realizan pruebas de alcalinidad ni ácidos grasos volátiles, necesarias para establecer la relación (AGV / Alc) en el reactor.

El equipo de trabajo, con que cuenta el operador de la planta, es más escaso que el presentado en la planta anterior, y cabe destacar la ausencia de utensilios de limpieza.

### 7.2.3 Pruebas de laboratorio

Los parámetros más representativos para la evaluación del sistema, se analizaran a continuación.

#### 7.2.3.1 *Parámetros de control*<sup>9</sup>

Con respecto al pH, para las mediciones realizadas se tiene que a las 7:00 a.m. llegan aguas con un pH superior al recomendado para el funcionamiento del sistema. El factor que genera este incremento fue descrito anteriormente, se debe a que la mayoría de las aguas en ese momento provienen del uso del baño.

Los valores altos de pH son asimilados por el sistema y retornados a valores dentro del rango de funcionamiento óptimo. En el caso de un valor bajo, como lo es el de las 3:15 p.m. el sistema lo asimiló generando un incremento. Todas las mediciones de salida se encuentran dentro del rango óptimo de 6.6 y 7.4. En el cuadro 7-9 se muestra los valores pH medidos.

**Cuadro 7-9.** Valores de pH, Lomas de Curridabat.

pH	Fecha y hora			
	4/3/05, 7:00 a.m.	16/2/05, 10:30 a.m.	10/2/05, 1:00 p.m.	24/2/05, 3:15 p.m.
Entrada	8,2	7,2	7,2	6,8
Salida	7,2	6,7	6,7	7,2

Los valores promedio de temperatura en el sistema fueron de 23.1°C y 23.3°C en la entrada y la salida respectivamente. La temperatura de salida, es a la que se encuentra el agua dentro del reactor, al igual que en la planta anterior, éste valor no es el óptimo para el funcionamiento del sistema, pero tampoco afectan de gran forma la eficiencia del sistema. Además, se mantiene dentro de lo establecido en el reglamento nacional.

<sup>9</sup> El rango óptimo de los parámetros de control se presenta en el capítulo 4

En el cuadro 7-10, se muestran los valores de alcalinidad medidos a la salida de la planta, el valor promedio registrado en el sistema fue de 225.3 mg/L. Los valores se mantienen muy similares en las tres mediciones realizadas, lo que indica que no se presenta un consumo irregular de alcalinidad.

**Cuadro 7-10.** Alcalinidad, Lomas de Curridabat.

Alcalinidad	Fecha y hora		
	4/3/05, 7:00 a.m.	16/2/05, 10:30 a.m.	24/2/05, 3:15 p.m.
Salida (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	228	236	212

### 7.2.3.2 Parámetros para la eficiencia

La eficiencia real del sistema, se determina de dos formas. La primera es a través de la reducción en los sólidos suspendidos totales y la otra es mediante la remoción de la DBO<sub>5,20</sub>.

Los valores de sólidos suspendidos totales registrados se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-11.** Sólidos suspendidos totales, Lomas de Curridabat.

SST	Hora			
	4/3/05, 7:00 a.m.	16/2/05, 10:30 a.m.	10/2/05, 1:00 p.m.	24/2/05, 3:15 p.m.
Entrada (mg/L)	220	50	60	60
Salida (mg/L)	90	170	0	80
<b>Eficiencia</b>	<b>59,1</b>	<b>0,0</b>	<b>100,0</b>	<b>0,0</b>

A partir de estos valores se establece una eficiencia promedio de 39,8% en la remoción de sólidos suspendidos totales, se encuentra por debajo de los valores adecuados (70%-80%). Éste valor es muy bajo y se debe a un fallo en el sistema, debido al exceso de sólidos en el sedimentador y el FAFA.

Los valores de  $DBO_{5,20}$  registrados se presentan en el cuadro 7-12.

**Cuadro 7-12.**  $DBO_{5,20}$ , Lomas de Curridabat.

$DBO_{5,20}$	Hora			
	4/3/05, 7:00 a.m.	16/2/05, 10:30 a.m.	10/2/05, 1:00 p.m.	24/2/05, 3:15 p.m.
Entrada (mg/L)	430	463	260	225
Salida (mg/L)	110	375	100	122
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>74,4</b>	<b>19,0</b>	<b>61,5</b>	<b>45,8</b>

En cuanto a remoción de  $DBO_{5,20}$ , se da una eficiencia promedio de 50,2%, muy por debajo de las estimaciones realizadas en el diseño original de la planta. Debido a esto, las aguas tratadas están por encima del límite establecido, el cual se encuentra en 50 mg/L.

Con base en estos resultados se puede decir que el sistema se encuentra colapsado, por lo que no funciona adecuadamente.

Los valores de DQO registrados se presentan en el cuadro 7-13.

**Cuadro 7-13.** DQO, Lomas de Curridabat.

DQO	Fecha y hora	
	4/3/05, 7:00 a.m.	24/2/05, 3:15 p.m.
Salida (mg/L)	200	250

No se puede establecer una correlación clara entre los valores de la  $DBO_{5,20}$  y DQO medidos en la salida, ya que las relaciones distan mucho una de otra. Esto se puede deber principalmente al mal funcionamiento del sistema, lo que genera irregularidades en los resultados.

### 7.2.3.3 Parámetros de reportes operacionales

En el siguiente cuadro, se presentan los valores generados en los análisis realizados, que se incluyen en un reporte operacional.

**Cuadro 7-14.** Resultados generales de las pruebas realizadas en Lomas de Curridabat.

	Salida				Norma
	4/3/05, 7:00 a.m.	16/2/05, 10:30 a.m.	10/2/05, 1:00 p.m.	24/2/05, 3:15 p.m.	
pH	7,2	6,7	6,7	7,2	5 a 9
Temperatura	23	22,5	22,7	25	15°C = T = 40°C
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	90	170	0	80	50 mg/l
Sólidos Sedimentables (ml/l/hr)	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	1 ml/l
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	110	375	100	122	50 mg/l

Los resultados que se encuentran en naranja, son los que no cumplen con el reglamento nacional.

En este caso, la DBO se pasa del límite en todas las mediciones realizadas; mientras que los sólidos suspendidos no cumplen en tres mediciones. Los demás parámetros, se encuentran por debajo del límite.

Esta condición en los parámetros, es un claro indicador de problemas en el sistema. Se debe principalmente, a deficiencias en la operación del sistema, en este caso la frecuencia de los trabajos y la falta de purga de algunas unidades, son la principal causa.

De nuevo, es importante indicar que, además de los parámetros que se indican en el cuadro 7-14, el reglamento regula el vertido de grasas y aceites. Sin embargo, esta prueba no fue realizada.

Los resultados específicos de las pruebas realizadas se presentan en el anexo B.

## **7.3 PLANTA DE CIUDAD DE ORO**

### **7.3.1 Aspectos generales sobre el operario**

El operario de la planta tiene seis meses de trabajar en el lugar. Antes de comenzar a trabajar, recibió una capacitación por parte del ingeniero encargado, en donde se le explicó sobre el sistema de tratamiento de la planta. También, se le indicó cual es la operación y mantenimiento que se le debe dar al sistema, así como las pruebas que deben realizarse.

El operario visita la planta todos los días, excepto domingos. El horario de trabajo es alternado de cuatro horas un día y dos horas y media el siguiente. Esto se debe a que trabaja en dos plantas de tratamiento distintas, por lo que combina mañanas y tardes en cada una. Recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado todas las semanas.

En este caso el operario si sabe que son los reportes operacionales e indica que actualmente se sacan muestras de agua en el sistema para el análisis de la planta.

### **7.3.2 Operación del sistema**

#### **7.3.2.1 Aspectos positivos**

Los aspectos positivos sobre la operación del sistema son los siguientes:

Se limpian las rejillas de entrada y la trampa de grasas una vez al día, todos los días. Los sólidos y flotantes recolectados en éstas dos unidades, son depositados en el lecho de secado, aquí se mantienen aproximadamente una semana. Una vez que se encuentran completamente secos, son depositados en sacos para ser utilizados como abono orgánico, o depositados dentro del terreno de la planta.



Se realizan mediciones de caudal, en la entrada, y de pH y sólidos sedimentables en la entrada y la salida, todos los días.

No se puede realizar la purga del sedimentador ni el FAFA, debido a un deterioro de las válvulas. Sin embargo, el operario trata de reducir este problema, realizando purgas manuales mediante el uso de un pascón. La eficiencia de esta operación no es la misma respecto a la de una purga completa, pero al menos se le brinda un mantenimiento mínimo, mientras se repara el problema con las válvulas.

La empresa encargada de la operación, realiza pruebas físico-químicas todos los meses, con el objetivo de monitorear el sistema y determinar la calidad del agua. Utilizan las pruebas como un indicador de la eficiencia del sistema. Las pruebas realizadas, son las que el reglamento nacional solicita en los reportes operacionales.

También, parte del mantenimiento consiste en la limpieza de los alrededores de la planta y el mantenimiento de elementos metálicos, mediante el uso de pintura anticorrosiva.

El equipo de trabajo con que cuenta el operario de la planta se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 7-15.** Equipo de trabajo en la planta de Ciudad de Oro.

Pala	Mascarilla	Maquina cortadora de césped
Carretillo	Pascón	Cuchillo
Guantes	Cubetas	Botas

Además de equipo de medición: Cono Imhoff, para los sólidos sedimentables e indicadores de pH.

### 7.3.2.2 Aspectos negativos

Los lodos del sedimentador no se han purgado correctamente, desde que la empresa encargada del mantenimiento comenzó a operar el sistema, hace seis meses, esto debido a que las válvulas se encuentran en mal estado y se imposibilita temporalmente la purga.

En el caso del FAFA, tampoco se ha purgado por las mismas razones. Actualmente se está esperando a que la municipalidad proporcione estas válvulas, y de este modo se pueda solucionar el problema.

No se determina la relación AGV/Alc., la cual funciona como parámetro de control del sistema.

### 7.3.3 Pruebas de laboratorio

Los parámetros más representativos para la evaluación del sistema, se analizarán a continuación.

#### 7.3.3.1 Parámetros de control<sup>10</sup>

Para las mediciones de pH realizadas, se tiene una distribución uniforme en los valores de entrada. Los niveles de pH, son asimilados por el sistema y retornados dentro del rango de funcionamiento óptimo. En el cuadro 7-16 se muestra como los valores de entrada son asimilados y disminuidos.

**Cuadro 7-16.** Valores de pH, Ciudad de Oro.

pH	Hora		
	12/4/05, 7:40 a.m.	10/3/05, 9:30 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.
Entrada	7,6	7,3	7,8
Salida	6,9	7	7

<sup>10</sup> El rango óptimo de los parámetros de control se presenta en el capítulo 4

Todos los valores de pH registrados a la salida del sistema, se encuentran dentro del rango óptimo, en donde que no causan efectos negativos sobre el proceso de digestión anaerobia. Esto propicia el crecimiento adecuado de las bacterias encargadas de la producción de metano.

Los valores promedio de temperatura en el sistema fueron de 24.3°C en la entrada y de 23.6°C en la salida. La temperatura promedio a la salida del sistema, se encuentra dentro de lo normal, para las aguas domésticas. Los valores registrados a la salida, no son los óptimos para el funcionamiento, pero tampoco afectan de gran forma la eficiencia del sistema.

En el cuadro 7-17, se muestran los valores de alcalinidad medidos a la salida de la planta, el valor promedio registrado en el sistema fue de 283 mg/L. Éste es mayor que el registrado en las plantas de Bosques de Santa Ana y Lomas de Curridabat. No se establece una variación significativa, en los valores de alcalinidad.

**Cuadro 7-17.** Alcalinidad, Ciudad de Oro.

Alcalinidad	Hora	
	12/4/05, 7:40 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.
Salida (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	290	276

### 7.3.3.2 Parámetros para la eficiencia

La eficiencia del sistema, se determina de la misma forma que en las plantas. Los valores de sólidos suspendidos totales se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-18.** Sólidos suspendidos totales, Ciudad de Oro.

SST	Hora	
	12/4/05, 7:40 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.
Entrada (mg/L)	230	160
Salida (mg/L)	20	20
<b>Eficiencia</b>	<b>91,3</b>	<b>87,5</b>

No se considera que la medición realizada a las 9:30 a.m., sea representativa porque el valor reportado en la entrada es muy bajo e igual al de salida. Por lo tanto, a partir de los valores representativos, los cuales son los de las mediciones de las 7:40 a.m. y 3:00 p.m., se determina una eficiencia promedio de 89.4% en la remoción de sólidos suspendidos totales. La eficiencia promedio registrada es buena y superior a los valores teóricos.

Los valores de  $DBO_{5,20}$  registrados se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-19.**  $DBO_{5,20}$ , Ciudad de Oro.

DBO	Hora		
	12/4/05, 7:40 a.m.	10/3/05, 9:30 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.
Entrada (mg/L)	385	270	346
Salida (mg/L)	228	110	131
<b>Eficiencia</b>	<b>40,8</b>	<b>59,3</b>	<b>62,1</b>

En cuanto a remoción de  $DBO_{5,20}$ , se da una eficiencia promedio de 54.1%. Este valor está por debajo de los valores teóricos (70% - 80%). Es importante trabajar en la remoción de la carga orgánica, con el objetivo de mejorar la eficiencia.

Los valores de DQO registrados, se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-20.** DQO, Ciudad de Oro.

DQO	Fecha y hora	
	12/4/05, 7:40 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.
Salida (mg/L)	490	540

No se puede establecer una correlación adecuada entre la  $DBO_{5,20}$  y la DQO, a la salida del sistema, debido a que las relaciones entre cada medición, fueron considerablemente distintas una de otra.

### 7.3.3.3 Parámetros de reportes operacionales

En el siguiente cuadro, se presentan los valores generados en los análisis realizados, que se incluyen en un reporte operacional.

**Cuadro 7-21.** Resultados generales de las pruebas realizadas en Ciudad de Oro.

	Salida			Norma
	12/4/05, 7:40 a.m.	10/3/05, 9:30 a.m.	1/4/05, 3:00 p.m.	
pH	6,9	7	7	5 a 9
Temperatura	23,5	24	24	15 = T = 40°C
Sólidos Susp. T. (mg/L)	20	10	20	50 mg/l
Sólidos Sed.(ml/L/hr)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1 ml/l
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	228	110	131	50 mg/l

De nuevo, es importante indicar que, además de los parámetros que se indican en el cuadro anterior, el reglamento regula el vertido de grasas y aceites. Sin embargo, esta prueba no fue realizada.

En el cuadro 7-22, se presentan los resultados de los análisis suministrados por la empresa operadora, encargada del sistema.

**Cuadro 7-22.** Resultados suministrados, de pruebas realizadas en Ciudad de Oro

	09/12/05	27/01/05	28/02/05	30/03/05	28/04/05	28/06/05	Norma
pH	7,1	7,5	7,0	7,0	6,9	6,5	5 a 9
Temperatura	23	20	-	-	-	-	15 = T = 40°C
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	69	52	42	33	18	12,5	50 mg/l
Sólidos Sedimentables (ml/l/hr)	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1 ml/l
Aceites y Grasas	14	84	28	12	20	38	30 mg/l
DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	62	84	43	37	21,6	17	50 mg/l
D.Q.O (mg/L)	159	194	240	147	127	93	-

**Fuente:** Empresa operadora.

Los análisis suministrados por la empresa operadora, fueron realizados en un laboratorio privado, el cual cuenta con todas sus pruebas acreditadas. Todas las muestras fueron tomadas a la salida del sistema, a la 1:00 p.m.

Los resultados que se encuentran en naranja, en los cuadros 7-21 y 7-22, son los que no cumplen con los límites establecidos en el reglamento nacional.

Es importante señalar que existe una diferencia de magnitud, entre las pruebas realizadas en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil y las pruebas suministradas por la empresa operadora. Este hecho se da principalmente, en los valores de  $DBO_{5,20}$  y DQO. Siendo mayores, los valores registrados en el laboratorio de la Universidad.

La diferencia en los valores se debe, principalmente a la calidad de los análisis. El laboratorio en donde se realizaron las pruebas de la empresa operadora, cuenta con todas las pruebas acreditadas. Mientras que las pruebas realizadas en el laboratorio de la Universidad, no se encuentran acreditadas.

Por tal motivo, se realiza un análisis separado de los valores. Por un lado, se analizan los resultados de las pruebas realizadas en la Universidad. Estos valores se utilizan principalmente para determinar la eficiencia del sistema, esto porque la incertidumbre en los datos de entrada y salida es la misma, por lo que la eficiencia se considera como real.

Por otro lado, se utilizan los análisis suministrados por la empresa operadora, para establecer la evolución del sistema, desde que la empresa comenzó las labores en la planta. Debido a que los análisis son realizados por el mismo laboratorio, la incertidumbre que presentan los valores es la misma y se puede considerar la variación del sistema como válida.

Los resultados mostrados en el cuadro 7-22, indican una notable mejoría en el sistema. En diciembre, cuando la administración del sistema pasó a manos de una empresa especializada, el valor de  $DBO_{5,20}$  registrado es de 62 mg/L. Con el paso del tiempo, este valor fue disminuyendo hasta llegar a 17 mg/L, en junio. Igual sucede con algunos otros parámetros. Las disminuciones en los parámetros presentados, son un reflejo de la operación del sistema.

Los resultados específicos de las pruebas realizadas se presentan en el anexo B.

## **7.4 PLANTA DE VILLAS DEL SOL**

### **7.4.1 Aspectos generales sobre el operario**

Los aspectos generales sobre el operario del sistema, son los mismos que en la planta de Ciudad de Oro. Esto se debe a que la empresa encargada de la operación y mantenimiento es la misma, por lo que la capacitación inicial es igual.

### **7.4.2 Operación del sistema**

#### **7.4.2.1 Aspectos positivos**

Se limpia la caja de distribución todos los días, el trabajo se hace de forma manual. Los sólidos recolectados son colocados en el lecho de secado.

Como no se puede realizar la purga general del sistema, el operador trata de sacar rodos los sólidos y flotantes mediante el uso del pascón.

Los sólidos y flotantes recolectados en el proceso son depositados en el lecho de secado. Aquí se mantienen entre una y dos semanas aproximadamente, dependiendo de las condiciones climáticas, y se retiran una vez que se encuentran secos. Son colocados en un hueco dentro de la propiedad.

Se realizan mediciones de pH una vez por semana en la entrada y todos los días en la salida, también se hace medición de sólidos sedimentables todos los días en la entrada y la salida, con prioridad en la salida; esto significa que si el operario no tiene tiempo suficiente realiza la medición sólo en la salida. En esta planta tampoco existe una estructura para medir caudal, por lo que no se realiza este procedimiento.

Parte del mantenimiento de la planta consiste en la limpieza de los alrededores y el mantenimiento de elementos metálicos, mediante limpieza y uso de pintura anticorrosiva.

El equipo de trabajo con que cuenta el operario de la planta se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 7-23.** Equipo de trabajo en la planta de Villas del Sol.

Pala	Mascarilla	Maquina cortadora de césped
Carretillo	Pascón	Cuchillo
Guantes	Cubetas	Botas

También cuenta con equipo de medición: Cono Imhoff para los sólidos sedimentables e indicadores de pH.

#### **7.4.2.2 Aspectos negativos**

Actualmente, en la planta no se purgan los lodos generados en el sedimentador primario ni en el FAFA. Esto se debe principalmente a deficiencias en el diseño original del sistema, el cual no contempló las previstas de electricidad ni de agua potable, necesarias para realizar este tipo de trabajos en la planta. Este aspecto fue descrito en el capítulo anterior.

La empresa operadora, pidió a la municipalidad de Cartago solucionar este problema, con el objetivo de que se pueda realizar la operación correcta del sistema. Sin embargo, la municipalidad no ha realizado los cambios necesarios, hasta la fecha.



### 7.4.3 Pruebas de laboratorio

Los parámetros más representativos para la evaluación del sistema, se analizarán a continuación.

#### 7.4.3.1 Parámetros de control<sup>11</sup>

Las mediciones de pH realizadas, presentan una distribución uniforme en los valores de entrada, presentándose el mayor a las 7:00 a.m., que es cuando muchas personas hacen uso del baño, generando así un incremento en el pH del sistema debido al uso de jabones. Los niveles altos son asimilados por el sistema y disminuidos. En el cuadro 6-20 se muestra los valores registrados.

**Cuadro 7-24.** Valores de pH, Villas del Sol.

pH	Hora		
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.	10/3/05, 3:00 p.m.
Entrada	7,7	7,5	7,1
Salida	6,9	7	7

Como se puede observar, todos los valores de pH a la salida del sistema, se encuentran dentro del rango óptimo de operación. Esto propicia el crecimiento de las bacterias encargadas de la producción de metano.

Los valores promedio de temperatura en el sistema fueron de 23.8°C en la entrada y de 23.4°C en la salida. La temperatura de salida, se mantiene a los mismos niveles de las plantas anteriores. No se encuentra en el rango óptimo, pero tampoco afecta el proceso de digestión anaerobia.

En el cuadro 7-25, se muestran los valores de alcalinidad medidos a la salida de la planta, el valor promedio registrado fue de 271 mg/L. Al igual que en las plantas anteriores, no se presenta una variación significativa en este parámetro.

<sup>11</sup> El rango óptimo de los parámetros de control se presenta en el capítulo 4

**Cuadro 7-25.** Alcalinidad, Villas el Sol.

Alcalinidad	Hora	
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.
Salida (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	280	262

### 7.4.3.2 Parámetros para la eficiencia

La eficiencia real del sistema, se determina de la misma forma que en las plantas anteriores. La primera es a través de la reducción en los sólidos suspendidos totales y la otra es mediante la remoción de la DBO<sub>5,20</sub>.

Los valores de sólidos suspendidos totales se presentan en el cuadro 7-26.

**Cuadro 7-26.** Sólidos suspendidos totales, Villas del Sol.

SST	Hora		
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.	10/3/05, 3:00 p.m.
Entrada (mg/L)	290	30	30
Salida (mg/L)	50	0	0
<b>Eficiencia</b>	<b>82,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Con los valores registrados, es difícil establecer una eficiencia que sea representativa para el sistema, esto porque en dos de las mediciones la eficiencia medida fue de 100% pero la cantidad de SST removida fue muy baja. Con los datos registrados, no se puede concluir sobre la eficiencia en la remoción de sólidos.

Los valores de DBO<sub>5,20</sub> registrados se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-27.** DBO<sub>5,20</sub>, Villas del Sol.

DBO	Hora		
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.	10/3/05, 3:00 p.m.
Entrada (mg/L)	366	213	230
Salida (mg/L)	300	48	105
<b>Eficiencia</b>	<b>18,0</b>	<b>77,5</b>	<b>54,3</b>

En cuanto a remoción de  $DBO_{5,20}$ , se da una eficiencia promedio de 50%. Este valor se encuentra por debajo de los valores teóricos (70% - 80%). Es importante mejorar la eficiencia del sistema, para de esta forma conseguir una mejor calidad en el agua del afluente.

Los valores de DQO registrados, se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7-28.** DQO, Villas del Sol.

DQO	Fecha y hora	
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.
Salida (mg/L)	506	260

A partir de los valores de DQO y DBO registrados en la salida del sistema, no es posible establecer una correlación, esto porque existen diferencias representativas entre las relaciones de DBO y DQO.

### 7.4.3.3 Parámetros de reportes operacionales

En el siguiente cuadro, se presentan los valores generados en los análisis realizados, que se incluyen en un reporte operacional.

**Cuadro 7-29.** Resultados generales de las pruebas realizadas en Ciudad de Oro.

	Salida			Norma
	12/4/05, 7:00 a.m.	1/4/05, 9:30 a.m.	10/3/05, 3:00 p.m.	
pH	6,9	7,0	7,0	5 a 9
Temperatura	23	24	23,5	15 = T = 40°C
Sólidos Susp. T. (mg/L)	50	0	0	50 mg/l
Sólidos Sed.(ml/L/hr)	< 0,1	< 0,1	0,9	1 ml/l
$DBO_{5,20}$ (mg/l)	300	48	105	50 mg/l

En el cuadro 7-30, se presentan los resultados de los análisis suministrados por la empresa operadora, encargada del sistema.

**Cuadro 7-30.** Resultados suministrados, de pruebas realizadas en Ciudad de Oro

	09/12/05	27/01/05	28/02/05	30/03/05	28/04/05	28/06/05	Norma
pH	6,9	7,3	6,7	6,9	6,6	6,9	5 a 9
Temperatura	23,1	20	-	-	-	-	15 =T= 40°C
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	102	88	88	116	79	41	50 mg/l
Sólidos Sedimentables (ml/l/hr)	0,4	0,1	< 0,1	1,4	< 0,1	< 0,1	1 ml/l
Aceites y Grasas	24	34	47	55	29	21	30 mg/l
DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	99	150	62	80	83	61	50 mg/l
D.Q.O (mg/L)	266	302	330	294	284	289	-

Fuente: Empresa operadora.

Los análisis suministrados por la empresa operadora, fueron realizados en un laboratorio privado, el cual cuenta con todas sus pruebas acreditadas. Todas las muestras fueron tomadas a la salida del sistema, a la 1:00 p.m.

Los resultados que se encuentran en naranja, en los cuadros 7-29 y 7-30, son los que no cumplen con los límites establecidos en el reglamento nacional.

Se debe señalar que, nuevamente, existe una diferencia de magnitud, entre las pruebas realizadas en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil y las pruebas suministradas por la empresa operadora. En este caso, la principal diferencia se presenta en los valores de DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos.

Como se describió anteriormente, la diferencia en los valores se debe, a la calidad de los análisis. El laboratorio en donde se realizaron las pruebas de la empresa operadora, cuenta con todas las pruebas acreditadas. Mientras que las pruebas realizadas en el laboratorio de la Universidad, no se encuentran acreditadas.

Al igual que en el caso anterior, se realiza un análisis separado de los valores. Utilizando los resultados de las pruebas realizadas en la Universidad, para determinar la eficiencia del sistema y los análisis suministrados por la empresa operadora, para establecer la evolución del sistema, desde que la empresa comenzó las labores en la planta.

La situación presentada en la planta de Ciudad de Oro, respecto al mejoramiento del sistema, se repite nuevamente en Villas del Sol, aunque no se cumple en la mayoría de las mediciones con la norma nacional. Sin embargo, la mejoría del sistema se presenta en menor grado, esto se debe a la limitación que presenta el sistema con respecto a la purga del lodo.

**CAPÍTULO 8:**  
**EVALUACIÓN DEL SISTEMA**

Para realizar la evaluación de cada planta, se relacionará la eficiencia y los valores de los análisis generados con la operación que se brinda a cada sistema, establecido en el capítulo 7, y se comparará en, términos generales, con los parámetros de operación recomendados en el capítulo 4.

## **8.1 PLANTA DE BOSQUES DE SANTA ANA**

Desde su construcción y durante el estudio, la planta estaba a cargo del urbanizador. Sin embargo, desde finales del mes de junio, el sistema pasó a manos del ICAA, el cual se encargará de operar el sistema, mediante la contratación de una empresa operadora especializada.

Con respecto a los parámetros de control, se tiene que los valores promedio a la salida del sistema son: pH de **7,2**, la temperatura es de **25.3°C**, y la alcalinidad es de **260 mg/L**. El pH se encuentra dentro del rango óptimo, la temperatura se encuentra normal para este tipo de aguas. Con respecto a la alcalinidad, no se presentaron variaciones importantes en los niveles medidos, que indicaran irregularidades.

La eficiencia registrada fue de **62.7%** en la remoción de DBO y de **89.3%** en la remoción de SST. Los niveles de eficiencia para este tipo de sistemas son de 70% a 90%. Por lo que la remoción de SST se encuentra bien, sin embargo falta mejorar en la remoción de DBO.

Si se comparan las mediciones con los límites establecidos para este tipo de plantas en el reglamento nacional, se tiene que no se cumple el valor mínimo de DBO en ninguna de las mediciones. Mientras que los demás parámetros si cumplen.

Para la planta, se tiene una eficiencia buena en el sistema con respecto a remoción de los sólidos. Esto se ve reflejado en una disminución adecuada en los sólidos suspendidos y sedimentables. Sin embargo, los sólidos totales se mantienen altos en la salida, esto se debe a valores muy altos de sólidos filtrables y disueltos.

El adecuado tratamiento de sólidos en el sistema se debe a la aplicación de procedimientos correctos en este sentido. La regularidad con que se limpian las rejillas y la trampa de grasas contribuye con una eficiente remoción, así como la periódica purga de lodos en el reactor y el sedimentador.

El criterio establecido para la purga del reactor es correcto, en este caso se hace mediante la inspección directa del lodo a través de válvulas de control. Sin embargo, el criterio utilizado para realizar la purga del sedimentador no es adecuado, en este caso se debe realizar una medición directa de los sólidos sedimentados y una vez que sobrepasen el límite realizar la purga.

Con respecto a la carga orgánica, se tiene una eficiencia regular en la remoción de DBO. La planta no cumplió en ninguna de las mediciones realizadas, con el valor mínimo establecido en el reglamento nacional, aunque los valores estuvieron muy cercanos al límite.

En este sentido, los procedimientos de operación aplicados no son suficientes. Esto porque no se realiza el monitoreo adecuado del sistema, el cual sirve para describir correctamente el funcionamiento. Es posible que algún factor químico o físico esté afectando el proceso de digestión anaerobia y por lo tanto generando una disminución en la eficiencia.

Una de las causas del problema puede ser un exceso de caudal, mayor al de diseño. Provocando así una disminución en el tiempo de retención del sistema, factor fundamental en el proceso de digestión anaerobia. Pero no se puede saber directamente, ya que no se tiene un registro de caudal con el que se pueda comparar.

Otro de los problemas detectados, en las visitas a la planta, es la generación de malos olores en la planta y alrededores. Ante esta problemática no se adoptan medidas que lo disminuyan, es importante realizar un análisis detallado del sistema y determinar la causa del problema y a partir de los resultados establecer las soluciones correctas. Una causa probable puede ser la presencia de gases disueltos en el efluente, ante esto es necesario cubrir el reactor para evitar la liberación de gases.

Es importante recordar que los malos olores funcionan como indicador de mal funcionamiento del sistema, éstos pueden ser generados por elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles en el reactor.

Existen muchas causas probables que afectan el desempeño del sistema de forma directa e indirecta. Sin embargo, son difíciles de detectar si no se establece un plan de monitoreo adecuado y esta planta no cuenta con uno.

La disposición y manejo que se hace de los lodos generados en el sistema es la correcta, también lo es el mantenimiento que se le brinda al lecho de lodos. Este factor es importante, ya que un manejo incorrecto de los lodos puede convertirse en una fuente de contaminación.

La seguridad del sistema es buena, la planta se encuentra protegida por dos mallas de acero, cada una con entrada independiente y candado de seguridad. Además, el operario se encuentra tiempo completo en el sistema, cuidando que entren personas no autorizadas.

## **8.2 PLANTA DE LOMAS DE CURRIDABAT**

La planta es operada por el urbanizador, desde hace cinco años, cuando fue construida.

Con respecto a los parámetros de control, se tiene que los valores promedio a la salida del sistema son: pH de **6,95**, la temperatura es de **23.3°C**, y la alcalinidad es de **226 mg/L**. El pH se encuentra dentro del rango óptimo, la temperatura se encuentra normal para este tipo de aguas; mientras que la alcalinidad, no presentó variaciones importantes en los niveles medidos.

La eficiencia registrada fue de **50,2%** en la remoción de DBO y de **39,8%** en la remoción de SST. Los cuales están muy por debajo de los niveles normales.



Con respecto a los límites establecidos en el reglamento, el sistema no cumple en ninguno de los casos con el DBO y en tres de las mediciones con los SST. Los demás parámetros si se encuentran dentro del rango permitido.

Aunque la planta esté en operación desde hace cinco años en forma continua, los procesos operativos seguidos hasta ahora no son los correctos, o al menos los necesarios.

Las labores realizadas por el operario, tales como limpieza de la cámara de entrada y de las rejillas son adecuadas, aunque la frecuencia de tres veces por semana no es suficiente para las cantidades de sólidos acumuladas. Tampoco se realiza un control de los parámetros físico-químicos que intervienen en el proceso, por lo que no se conoce el comportamiento del sistema.

Uno de los factores que más repercuten en la baja eficiencia del sistema, es el que nunca se halla realizado la purga de lodos del sedimentador ni del FAFA. Esto produce la saturación del sedimentador, trasladando así los sólidos directamente al FAFA. También, el hecho de no realizar una purga del FAFA durante tanto tiempo provoca la saturación del filtro, generando la aparición de caminos para el agua dentro del mismo, este factor afecta reduciendo el tiempo de residencia hidráulica de diseño en el sistema afectando directamente la eficiencia del sistema, debido a todo esto el agua sale con un tratamiento mínimo.

En todas las visitas realizadas al sitio se detectaron muy malos olores en la planta y alrededores, los cuales actúan como indicadores del mal funcionamiento del sistema. Las posibles causas de este fenómeno ya fueron mencionadas, lo importante es destacar que son un buen indicador del mal funcionamiento en el proceso de digestión anaerobia.

Como no se cuenta con un sistema de monitoreo adecuado, no se sabe cual es la causa directa del mal funcionamiento del sistema. Aunque por las condiciones de operación y los resultados obtenidos en los análisis, se puede prever que se está presentando un paso prácticamente directo del agua por el sistema. Bajo esta consideración, el agua no esta siendo tratada correctamente.

Tanto la disposición como el manejo que se hace de los sólidos, recogidos en la cámara de entrada y rejillas son los correctos. Ya anteriormente se había mencionado que un manejo incorrecto de éstos, puede convertirse en una fuente de contaminación en la urbanización donde se encuentra la planta.

Con respecto a la seguridad de la planta, se considera que es deficiente. Esto se comprobó en una de las visitas, en donde dos niños jugaban dentro de la propiedad. La malla se encuentra completamente dañada en varios sectores y la entrada principal no cuenta con un candado de seguridad.

El sistema tampoco cuenta con los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de higiene ocupacional. Las instalaciones no cuentan con agua potable así como los implementos necesarios para cuidado e higiene.

### **8.3 PLANTA DE CIUDAD DE ORO**

La planta es operada por una empresa especializada en el área ambiental y sistemas de tratamiento. Esta empresa comenzó la operación del sistema desde hace siete meses. Anteriormente, la planta se encontraba abandonada, por lo que desde el principio se ha tendido que trabajar en un proceso de recuperación y estabilización del sistema. Los resultados de este proceso se ven reflejados de forma directa en los análisis del sistema, los cuales indican una mejoría, en la calidad del agua tratada, a través del tiempo.

Con respecto a los parámetros de control, se tiene que los valores promedio a la salida del sistema son: pH de **7,0**, la temperatura es de **26.3°C**, y la alcalinidad es de **283 mg/L**. El pH se encuentra dentro del rango óptimo, la temperatura se encuentra normal. Con respecto a la alcalinidad, no se presentaron variaciones importantes en los niveles medidos.

La eficiencia registrada fue de **54.1%** en la remoción de DBO y de **89,4%** en la remoción de SST. El sistema se encuentra bien en la remoción de SST pero muy por debajo de los niveles normales en la remoción de DBO.

En esta planta se tiene una eficiencia buena en el sistema con respecto los sólidos. Esto se ve reflejado en una disminución adecuada en los sólidos suspendidos y sedimentables. Aunque los sólidos totales se mantienen un poco altos en la salida, producto de valores muy altos de sólidos disueltos en las aguas.

El adecuado tratamiento de sólidos en el sistema se debe a la aplicación de correctos procedimientos en este sentido. La regularidad con que se limpian las rejillas, la trampa de grasas, el sedimentador y el FAFA contribuyen con una eficiente remoción.

La eficiencia en la disminución de la carga orgánica, medida a través de la  $DBO_{5,20}$ , es baja. Sin embargo, se nota un marcado mejoramiento en el sistema desde que la empresa encargada de la operación comenzó a realizar los trabajos necesarios.

Es importante mencionar que en esta planta se aplica un plan de monitoreo que permite llevar un control del funcionamiento del sistema. Sin embargo, el monitoreo no es completo, ya que aún faltan parámetros por evaluar que contribuirían a conocer más a fondo lo que sucede en el proceso de tratamiento, específicamente la relación AGV / Alc.

En cuanto a la disposición y manejo de los lodos producidos durante el tratamiento en la planta, así como el mantenimiento que se le brinda al lecho de lodos, se puede decir que el trabajo es correcto, ya que no presenta problemas visibles o complicaciones en cuanto a fuentes de contaminación adicionales.

Durante las visitas, en dos ocasiones, se encontró la presencia de malos olores en las aguas tratadas a la salida de la planta, es importante trabajar más en este aspecto y establecer las causas directas que lo provocan.

La seguridad en la planta es buena, ésta se encuentra protegida por una malla en todo el perímetro y cuenta con candado de seguridad en la entrada. Sin embargo, la malla esta un poco dañada en sector cercano a la salida del agua.

## 8.4 PLANTA DE VILLAS DEL SOL

En esta planta se presenta la misma condición que en la de Ciudad de Oro. La empresa encargada es la misma y comenzó a trabajarla igual desde hace siete meses. Similar a la anterior, desde el comienzo ha sido un proceso de recuperación y estabilización del sistema.

Con respecto a los parámetros de control, se tiene que los valores promedio a la salida del sistema son: pH de **7,2**, la temperatura es de **23.4°C**, y la alcalinidad es de **271 mg/L**. El pH se encuentra dentro del rango óptimo, la temperatura se encuentra normal para este tipo de aguas. Con respecto a la alcalinidad, no se presentaron variaciones importantes en los niveles medidos.

La eficiencia registrada fue de **50.0%** en la remoción de DBO. Mientras que con los valores medidos de SST no se pudo establecer la eficiencia, debido a irregularidades en los resultados. El sistema se encuentra muy por debajo de los niveles normales en la remoción de DBO.

Los procedimientos operativos que se aplican son correctos, pero insuficientes. Debido a esto la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica que se tiene en el sistema es baja. Sólo en dos de las cinco mediciones de sólidos suspendidos realizadas se detectó un nivel adecuado de los mismos, menor al establecido como estándar para este parámetro y sólo en una de las mediciones de DBO<sub>5,20</sub> se cumplió con la norma.

El principal problema, se debe a la limitante que tiene el sistema con respecto a la purga de lodos. Consiste principalmente en deficiencias del sistema con respecto al diseño original. La planta debe ser purgada mediante el uso de una bomba portátil, sin embargo no se previeron las condiciones de operación de la bomba. En el lugar no hay previstas para electricidad ni agua potable. Esto genera que la digestión anaerobia no se lleve a cabo en las condiciones óptimas. Se presenta un exceso de material metanogénico en el FAFA y el sedimentador, el cual es arrastrado por el flujo de agua y llevado hasta la salida, produciendo así un incremento en los valores de DBO.

En las visitas realizadas se encontró malos olores en la planta y alrededores, esto puede estar relacionado directamente con la eficiencia del tratamiento. Para mejorar estos problemas, es importante evaluar las posibles causas que los generan y buscar las soluciones correctas.

También, se detectó que no existen problemas de contaminación por la disposición y manejo de los lodos o su lecho de secado, pues el tratamiento es adecuado para las condiciones prevalecientes. El mantenimiento que se brinda al lecho también es el correcto.

Al igual que en la planta de Ciudad de Oro, en ésta se aplica un proceso de monitoreo adecuado, que permite llevar un control del funcionamiento del sistema. Sin embargo, el monitoreo no es completo, pues al igual que en el caso anterior aún faltan parámetros por evaluar.

La seguridad de la planta es buena, cuenta con una tapia perimetral de mampostería, la cual restringe el acceso a particulares.

## **8.5 OPERACIÓN DEL SISTEMA**

A manera de resumen, las actividades realizadas en cada uno de los sistemas evaluados, se pueden dividir en positivas y negativas.

Con base en éstos resultados, se establecen las actividades correctas de operación del sistema, las cuales se describen detalladamente en el **manual operacional**. El manual se encuentra el **anexo A**.

A continuación, se presenta cada una de estas actividades para las PTAR.

### 8.5.1 Aspectos positivos

Los aspectos positivos, corresponden a aquellas actividades realizadas correctamente en el sistema; ya sea tanto la acción misma, como la frecuencia con que se realiza esta acción.

**Cuadro 8-1:** Aspectos positivos sobre la operación del sistema

Bosques de Santa Ana	Lomas de Curridabat	Ciudad de Oro y Villas del Sol
Limpeza de rejillas	Labores de limpieza de las unidades del tratamiento primario	Limpeza de rejillas
Disposición de sólidos		Disposición de sólidos
Purga del RAFA	Disposición de sólidos	Limpeza del FAFA y el sedimentador
Limpeza del reactor		Revisión de elementos, tuberías y válvulas
Revisión de elementos metálicos, tuberías y válvulas		Mantenimiento del lecho de secado
Mantenimiento de lecho de secado	Limpeza de las instalaciones	Medición de pH, temperatura y sólidos sedimentables
Medición de pH, temperatura y sólidos sedimentables		Pruebas físico-químicas
Limpeza de las instalaciones		Limpeza de las instalaciones

### 8.5.2 Aspectos negativos

Los aspectos negativos, son actividades que presentan una acción incorrecta, que no se realizan o se realizan con la frecuencia indebida.

**Cuadro 8-2:** Aspectos negativos sobre la operación del sistema

Bosques de Santa Ana	Lomas de Curridabat	Ciudad de Oro y Villas del Sol
Limpeza de trampa de grasas	Frecuencia de limpieza	Purga del sedimentador
Purga del sedimentador	Purga del sedimentador	
Mantenimiento de las campanolas	Purga del FAFA	Purga del FAFA
Uso del biodigestor	Uso del biodigestor y lecho de secado	
Pruebas físico-químicas	Medición de pH, temperatura y sólidos sedimentables	Relación AGV / Alc
	Pruebas físico-químicas	

## 8.6 COSTOS DE OPERACIÓN

Es importante considerar los costos en que se incurre, para realizar una correcta operación de los sistemas de tratamiento. En los sistemas de tratamiento anaerobios, es necesario considerar el costo por monitoreo del sistema.

Con base en el programa de monitoreo, propuesto en el **manual operacional**, se determinan los costos del sistema. El primer escenario a considerar, es cuando la planta comienza a operar, por lo que el sistema no se encuentra completamente estabilizado. Bajo estas condiciones, los costos de monitoreo son los siguientes.

**Cuadro 8-3:** Costos de operación,

<b>Parámetro</b>	<b>Precio<sup>12</sup> (colones)</b>	<b>Muestras por mes</b>	<b>Precio mensual (colones)</b>
Temperatura	-	-	-
pH	65	60	3 900
Sólidos sed.	-	-	
Alcalinidad	4 500	0,5	2250
Ácidos grasos volátiles	7 000	0,5	3500
Sólidos susp.	2 700	1,5	4 050
DQO	6 500	1,5	9 750
DBO	7 500	1,5	11 250
Grasas y aceites	7 000	1	7 000
<b>Total</b>			<b>41 700</b>

Estos costos, no incluyen el salario del operario ni del encargado directo. Corresponden únicamente a las pruebas necesarias para realizar el monitoreo del sistema.

Considerando el número de conexiones de cada sistema, se determina el costo mensual por conexión:

Bosques de Santa Ana	<b>¢ 98</b>
Lomas de Curridabat	<b>¢ 363</b>
Ciudad de Oro	<b>¢ 110</b>
Villas del Sol	<b>¢ 278</b>

<sup>12</sup> El precio se presenta en colones, al mes de agosto del año 2005. Estos valores, corresponden a pruebas acreditadas realizadas en un laboratorio privado ubicado en San José, no contempla el costo de muestreo ni el traslado de las muestras.

Para el caso del residencial Lomas de Curridabat, los costos por conexión son mayores, debido a que presenta el menor número de conexiones.

El segundo escenario, corresponde a un sistema estabilizado. Las características de un sistema estabilizado, así como el respectivo programa de monitoreo, se presentan en el **manual operacional**. Bajo estas condiciones, los costos de monitoreo son los siguientes.

**Cuadro 8-3:** Costos de operación: sistema estabilizado

<b>Parámetro</b>	<b>Precio (colones)</b>	<b>Muestras por mes</b>	<b>Precio mensual (colones)</b>
Temperatura	-	-	-
pH	65	60	3 900
Sólidos sed.	-	-	-
Sólidos susp.	2 700	1	2 700
DQO	6 500	1	6 500
DBO	7 500	1	7 500
Grasas y aceites	7 000	1	7 000
<b>Total</b>			<b>27 600</b>

Con este programa de monitoreo, los costos se reducen en un 34%. Con este precio, el costo mensual por conexión es el siguiente:

Bosques de Santa Ana	¢ 65
Lomas de Curridabat	¢ 240
Ciudad de Oro	¢ 73
Villas del Sol	¢ 184

Actualmente, los usuarios no pagan ninguna cuota por la operación del sistema. Estos costos, deberían ser trasladados directamente a los usuarios. Los gastos se pueden trasladar al recibo de agua y que cada usuario pague proporcionalmente a la contaminación que genera, o cada usuario puede pagar directamente una cuota mensual establecida.

Es importante mencionar nuevamente, que los costos descritos corresponden únicamente a los que se generan por el monitoreo del sistema, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el **manual operacional**. A estos costos, se deben sumar el salario del operario y los gastos de la empresa operadora.



**CAPÍTULO 9:**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 9.1 CONCLUSIONES

### Sobre los sistemas de tratamiento

- Con base en la investigación realizada, se concluye que muchas de las plantas de tratamiento que operan en el país, al igual que las analizadas, no presentan los reportes operacionales correspondientes al Ministerio de Salud, y éste no tiene los recursos necesarios para controlar el buen funcionamiento de las mismas.
- A simple vista, la capacidad del cuerpo receptor de dos de las plantas evaluadas, no es suficiente para diluir, de manera eficiente, al agua vertida. Por lo tanto, es necesario realizar estudios sobre la capacidad de cuerpos receptores, antes de realizar el vertido de las aguas. Esto se aplica, a todas las plantas de tratamiento.
- Los sistemas de tratamiento anaerobios, en este caso específico los reactores anaerobios, han probado ser una alternativa ambiental y económicamente factible, tanto a nivel nacional como internacional. Sin embargo, el análisis realizado comprobó que requieren de una operación adecuada y un mantenimiento continuo, para generar resultados favorables al medio ambiente.
- Las plantas de tratamiento con reactores anaerobios, son una buena alternativa para nuestro medio debido a los bajos costos globales que representan. Sin embargo, en muchas ocasiones se deja de lado esta opción por los malos olores que generan, en caso de alguna deficiencia en su operación. Conforme se mejoren los procedimientos de mantenimiento y operación de estas plantas, los resultados serán más eficientes, incluyendo la disminución en la generación de olores. De este modo el sistema podrá convertirse de nuevo, en una opción atractiva.
- Las plantas de tratamiento con reactores anaerobios; por lo general, presentan configuraciones diferentes unas de otras, esto depende en parte, del ingeniero responsable del diseño y sus preferencias. A pesar de esto, los principios básicos de digestión anaerobia que se dan en el proceso, son los mismos para todas las plantas y por lo tanto, los principios básicos de operación serán los mismos para cada una.

## Sobre las plantas evaluadas

- Los cuatro sistemas evaluados son reactores anaerobios, tres FAFA y un RAFA. Todos se encuentran actualmente en operación. Cada sistema fue diseñado por un ingeniero diferente, por lo que presentan configuraciones distintas.
- La eficiencia global registrada en cada sistema es proporcional al control y la operación del mismo. De los casos analizados, en la planta donde los procesos operativos eran deficientes la eficiencia fue baja, mientras que en las demás conforme se aplican procedimientos mejores, la calidad del agua tratada fue mayor.
- El sistema que cuenta con el RAFA, demostró ser más que los sistemas que cuentan con un FAFA. Esta diferencia se debe principalmente, a que en ninguno de los sistemas que cuenta con FAFA se realiza la purga del sistema.
- Los valores de pH en la entrada del sistema, siempre fueron mayor que en la salida, para todas las plantas. Esta disminución se debe a la acción de los ácidos grasos volátiles dentro del reactor. Sin embargo, en ninguna de las plantas, los niveles de pH se salieron del rango óptimo.
- A pesar de que los análisis de DQO, sirven para determinar la eficiencia del sistema. En este caso, las pruebas realizadas en cada una de las plantas no fueron representativas, por lo que no dieron ningún aporte al análisis.
- La capacitación que se le brinda a los operarios de las plantas de tratamiento no es suficiente. Es necesario que conozcan más sobre el funcionamiento básico de la planta, así como de las funciones específicas de cada proceso. A ellos hay que enseñarles, dentro de su capacitación, la importancia de los reportes operacionales y cuáles son los parámetros que se van a monitorear para conocer la eficiencia de la planta. Además, es conveniente que estén al tanto de los resultados del proceso, se les debe informar si la planta esta trabajando bien o mal y si cumple con la normativa nacional, esto con el objetivo de involucrarlos más con el sistema.

- En el diseño de los sistemas de tratamiento evaluados, no se previeron los requerimientos de infraestructura necesarios para un adecuado monitoreo, por lo tanto se dificulta los procesos operativos correctos. Del análisis realizado para los mismos, se puede concluir que es necesario incorporar la operación de la planta desde el diseño mismo, de forma que se faciliten los procesos operativos y se tenga claridad de los pasos que se dan en cada fase del tratamiento.
- Los manuales de operación y mantenimiento que fueron diseñados para cada una de las plantas no satisfacen los requerimientos operacionales. Dichos manuales se orientan exclusivamente a las labores del operario en el sistema, y dejan de lado la valoración cualitativa del mismo. Una de las deficiencias más grandes de los mismos radica en que no se indica el tipo de pruebas que debe realizar para el monitoreo, ni los cuidados que se debe tener con el reactor.
- Algunas de las propuestas realizadas para las plantas de tratamiento en la memoria de cálculo presentada ante el Ministerio de Salud, no se llevan a cabo a la hora de la construcción de las mismas. Esto se constató con los medidores de caudal; en cada una de las memorias de cálculo se diseñó una estructura para la medición de caudales, pero en las visitas se encontró que en ninguna planta existía dicha estructura. Esto se convierte en un problema, ya que todas las estructuras cumplen un papel específico en el sistema de tratamiento.

## **Sobre la operación de los sistemas de tratamiento**

- A partir del análisis de las plantas de tratamiento, se concluye que la aplicación de un sistema de mantenimiento y control adecuado, genera mejoras significativas en el sistema y, consecuentemente, en la calidad de las aguas tratadas. Esto pone de manifiesto, la importancia de implementar manuales de operación y mantenimiento, como el generado en este proyecto.
- Implementar un sistema de control y monitoreo completo, representa una inversión de 41 700 colones, actualmente. Si se relaciona este costo, con el número de conexiones que tiene la planta de Lomas de Curridabat, la cual cuenta con el menor número de conexiones, se tiene que el costo por conexión es de 363 colones.
- Las plantas de Ciudad de Oro y Villas del Sol, son las que presentan un mayor control del sistema. Sólo en éstas, se realizan pruebas físico-químicas que permitan monitorear el funcionamiento del sistema. Sin embargo no se realizan todas las pruebas necesarias. En ninguno de los sistemas evaluados, se determina la relación AGV/Alc. Este es el parámetro de mayor importancia en el control del sistema.
- Los operarios de las plantas de tratamiento evaluadas, realizan el trabajo que les corresponde de una forma correcta y eficiente; cumplen con las indicaciones dadas por el encargado del sistema, aunque éstas puede que no sean suficientes para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema. El problema con la eficiencia de estas plantas, radica en la falta de atención al sistema por parte de los encargados directos. Esto se agrava, en las plantas administradas por el urbanizador, en donde el operario se encuentra sin el apoyo técnico necesario.
- En las plantas administradas por una empresa especializada en sistemas de tratamiento, se cuenta con un ingeniero ambiental encargado del mantenimiento y control. Estos demostraron tener un gran conocimiento del tratamiento en general y de los requerimientos del sistema. Fue en éstas donde se encontraron los procesos operativos y de control más adecuados.

- En el caso de las plantas que son administradas por el urbanizador, los encargados directos demostraron no conocer los conceptos y procesos de la digestión anaerobia, por lo tanto no están al tanto de los requerimientos básicos necesarios de la planta para su adecuado funcionamiento. Debido a esto no se realiza el monitoreo requerido, para conocer las características del sistema y realizar un control apropiado.
- En tres de las plantas evaluadas, específicamente en los FAFA, no se está realizando la purga de lodos del reactor, la cual es necesaria para no saturar el sistema de sólidos. Esto afecta la eficiencia de la planta y se refleja directamente en la calidad del agua tratada.

## 9.2 RECOMENDACIONES

- A la hora de contratar un operario para que trabaje en una planta de tratamiento se le debe brindar una capacitación adecuada que incluya los siguientes conceptos básicos:
  - ¿Qué son las aguas residuales domésticas?
  - Efectos contaminantes sobre el medio ambiente de las aguas residuales y de la mala operación de sistemas de tratamiento para las mismas
  - Sistema de tratamiento (en función del tipo de planta en la que va a trabajar) y procesos generales dentro de cada unidad de tratamiento que tiene la planta en la que va a trabajar.
  - Estructuras que componen el sistema y como solucionar los problemas más comunes en cada una de ellas.
  - Procesos de operación y mantenimiento.
  - Seguridad ocupacional.
  
- Se debe utilizar procesos operativos correctos, cuando se administra una planta de tratamiento; que no sólo contemple el trabajo diario del operador del sistema, sino también la implementación de un sistema de monitoreo adecuado, el cual registre las variables físico-químicas que intervienen en el proceso y de este modo se pueda mantener el control del sistema.
  
- De la experiencia en este proyecto, se ha visto que cuando se construye una planta de tratamiento en una urbanización, es recomendable que la administración del sistema se traslade a una empresa especializada en sistemas de tratamiento y no la administre el urbanizador. Esto se debe a que las empresas especializadas que se encargan de estos trabajos, poseen la experiencia necesaria para operar la planta adecuadamente, además cuentan con ingenieros ambientales que están familiarizados con los procesos y el adecuado control.

- En tanto sea posible, se debe realizar la purga del sedimentador todos los días. Con esto se evita que el material sea arrastrado poco a poco y llegue hasta el sistema de tratamiento secundario.
- Siempre se debe prevenir la acumulación de sólidos en el sistema, específicamente en el reactor. Cuando hay exceso de sólidos en el reactor, parte del material se desprende y sale con el agua tratada, contaminando así el efluente. Si se nota excesos de sólidos sedimentables en la salida, especialmente partículas negras, es un indicador de que se debe purgar el reactor.
- Se deben evitar los cambios bruscos en el pH durante la operación del sistema. Esto porque se inhibe el crecimiento de las bacterias, provocando un descenso en la eficiencia. Para realizar este control se debe controlar el valor de pH en la entrada y la salida. En caso de que se presenta una reducción en este parámetro, se debe adicionar cal al sistema, para retornar al rango óptimo.
- Se recomienda el uso de un adecuado sistema de rejillas que impida el ingreso de material inerte de gran tamaño como papel y plástico, entre otros. Este tipo de materiales puede quedarse en el fondo del sistema, perjudicando la circulación del agua y afectando el proceso de digestión. Dependiendo de la gravedad del problema, se tendría que sacar de operación la planta para retirar estos materiales.
- Se recomienda establecer un mayor control de olores en las plantas de tratamiento anaerobias. Esto porque la generación de olores desagradables degrada el medio y la calidad de vida en los alrededores de la planta. Si se toma en cuenta que estos sistemas se están en urbanizaciones, el número de familias que se encuentran próximas es considerable.
- Cuando se da la generación de malos olores en la planta, es recomendable realizar una evaluación del sistema, esto porque se pueden estar presentando



problemas en el proceso de digestión anaerobia. Como se mencionó, los malos olores son un buen indicador de deficiencias en el proceso de tratamiento.

- Se debe construir siempre lo que se presenta en planos ante el Ministerio de Salud, porque cada unidad en el sistema de tratamiento tiene una función específica en el funcionamiento de la planta. Además, es necesario que los diseños se realicen correctamente. En el diseño de los sistemas, muchas veces se deja de lado lo funcional, para optar por lo más económico, sin considerar que a largo plazo el costo ambiental puede ser mayor.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Arias, A. Diagnóstico para las Plantas de Tratamiento en Urbanizaciones Villas del Sol y Ciudad de Oro, La Pitahaya, Cartago. SURA Soluciones Ambientales, San José (1997).
2. Arias, A. Manual del Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1999).
3. Arias, A. Solís, A. Sistema de Tratamiento Anaerobio para Aguas Residuales del Beneficiado de Café. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1991).
4. Arias, A., SURA Soluciones Ambientales. Programa de Capacitación a Operarios de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Desechos Sólidos. Costa Rica (1999).
5. Bolaños, F. Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento del Centro de Atención Calle Real. Liberia (2003).
6. B.T.G. de Centroamérica S.A. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Café, Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente: Manual para el Usuario. Beneficio Coopenaranjo R.L. Costa Rica (1995).
7. B.T.G. de Centroamérica S.A. Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales del Café: Arranque y Monitoreo. Costa Rica (1995).
8. Carballo, G. Aragón, S. Agüero, P. Evaluación del Funcionamiento y Elaboración de un Manual Operacional de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Urbanización Los Cenízaros, Poás de Aserrí. Taller de diseño, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José (2003).
9. Chernicharo, C. A. Principios do Tratamento Biológico de Aguas Residuárias: Reactores Anaerobios. Volumen 5. Editorial SEGRAC, Brasil, (1997).

10. Cordero, V. Memoria de Cálculo y Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de La Urbanización Bosques de Santa Ana. San José (1999).
11. Cruz, N. Memoria de Cálculo y Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de La Urbanización Villas del Sol. (1994).
12. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Editorial LIMUSA. México, 1980.
13. Fair, Gordon, Geyer, John y Okum. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Volumen I y II, Editorial LIMUSA. México. 1980.
14. Goñi, P. J. Análisis de Eficiencia de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente en un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Café por medio de la Instalación de un Modelo a Escala. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José (2001).
15. Guzmán, O. Memoria de Cálculo y Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de La Urbanización Ciudad de Oro. Cartago (1994).
16. Hernández, S. Evaluación de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el Tratamiento de las Aguas Residuales de Café. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José (1993).
17. Hing, A. Evaluación de un Sistema de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales de una Planta situada en el Parque Industrial Zeta en Heredia. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José (2000).
18. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Estudio Sobre la Situación de la Tecnología de Tratamiento de las Aguas Residuales de Tipo Ordinario en Costa Rica. Costa Rica (2003).

19. Kikpatrick, J. Applied Math for Wastewater Plant Oerators. Technomic Publication, Estados Unidos (1991).
20. Lizano, M. A. Evaluación de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente en los Beneficios de Café del Cantón de Naranjo. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José (2000).
21. Metcalf, O. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Segunda edición, Editorial Labor, Barcelona (1985).
22. Moeller, G. Diseño de Reactores Anaerobios. Primera edición, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México (2002).
23. Moeller, G. Reactores Anaerobios: Fundamentos y Diseño. Primera edición, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México (2002).
24. Moeller, G. Tratamiento Anaerobio de Lodos Residuales. Primera edición, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México (2002).
25. Presidencia de la Republica. Ministerio de Salud y de Ambiente y de Energía. Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales N° 31545-S-MINAE. Costa Rica (2003).
26. Presidencia de la Republica. Ministerio de Salud y de Ambiente y de Energía. Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales N° 26042-S-MINAE. Costa Rica (1997).
27. Rodríguez, R. Diseño y Puesta en Marcha de un Sistema de Tratamiento Anaerobio con retención de Biomasa a Escala de Laboratorio para Desechos Porcinos. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José (2000).

28. Rodríguez, V. Memoria de Cálculo y Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de La Urbanización Lomas de Curridabat. San José (1998).
29. Sánchez, L. Parámetros Operativos y Capacidad de Procesamiento del Reactor Anaerobio en el Beneficio Coopelibertad R.L. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, San José (2000).
30. Vindas, K. Evaluación de Medios de Soporte Biológico para Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José (2001).
31. Water Pollution Control Federation. Anaerobic Digestion Administration Guide. Editorial Richelieu Graphics, Canada (1981)
32. Winkler, M. A. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. Editorial LIMUSA, México (1999).

# **ANEXOS**

**Anexo A:**  
**MANUAL OPERACIONAL**



## **A.1 DEFINICIONES**

### **A.1.1 Caudal**

La medición de caudales se puede realizar mediante diferentes métodos, a continuación se presentan algunos:

- Canaleta Parshall
- Vertedero
- Volumétrico
- Velocidad / área
- Equipo de medición automática

El operario debe tener muy claro el método mediante el cual se realizan las mediciones de caudal en el sistema. Este aspecto está en función del sistema de medición empleado en la planta, por lo que es responsabilidad de la persona encargada de la capacitación informarse sobre el método empleado y su aplicación, de modo que pueda brindar la información necesaria al operador. La memoria de cálculo del sistema debe incluir este tipo de información, por lo que se puede consultar.

### **A.1.2 Temperatura**

De los factores físicos que afectan el crecimiento bacteriano, la temperatura es uno de los más importantes. El rango de temperatura puede ser asociado al crecimiento bacteriano en la mayoría de los procesos biológicos. En el caso de aguas residuales de tipo domésticas en el país, la fase de crecimiento bacteriano que se presenta es la mesófila, con un rango que va de los 20 a los 45°C. Los niveles óptimos de temperatura se encuentran en el rango que va de los 30 a los 35°C. Sin embargo, este rango de temperatura es difícil de alcanzar en nuestro medio.

La temperatura afecta los procesos biológicos de dos formas. La primera es influyendo en las tasas de reacción de las enzimas, la otra forma es interviniendo en las tasas de difusión del sustrato.

Debe medirse mediante el uso de un termómetro, este puede ser de varios medios: mercurio o alcohol y adicionalmente puede ser electrónico. Su utilización es muy simple ya que consiste en sumergir la punta del termómetro en un volumen de líquido que se desee medir. Una vez que sea haya dejado de utilizar se debe enjuagar con agua destilada o alcohol.

### **A.1.3 pH**

El efecto del pH sobre el sistema se manifiesta de dos formas:

- Directamente: afectando la actividad de las encimas, esto ocurre por variaciones drásticas del pH.
- Indirectamente: afectando la toxicidad de algunos compuestos.

Las bacterias productoras de metano tienen un crecimiento óptimo en el rango de pH entre 6,6 y 7,4. Sin embargo, se puede conseguir estabilidad en la formación de metano en un rango de pH más amplio, entre 6,0 y 8,0. El objetivo principal en el control del pH es eliminar los riesgos por la inhibición de las bacterias metanogénicas, debido a los bajos valores de pH, evitando así una falla en el proceso. La variación en los valores de pH esta directamente ligada a los parámetros de alcalinidad y ácidos volátiles.

La medición de pH se lleva a cabo de forma directa, mediante el uso de indicadores o de equipo electrónico. Una vez realizada la medición, en el caso de equipo electrónico, se debe enjuagar con agua destilada y posteriormente se debe secar las superficies que hayan quedado húmedas teniendo cuidado de no tocar la membrana semipermeable. En el caso de los indicadores, después de ser utilizados se deben colocar en el basurero. Es más recomendable el uso de aparatos eléctricos, esto se debe a que presentan una mayor precisión con respecto a los indicadores, lo que permite un monitoreo más preciso.

### **A.1.4 Alcalinidad**

Es un parámetro importante para el control del proceso. Debe estar presente en suficiente cantidad, para que se logre reducir el efecto de la producción excesiva de acidez en el reactor, provocada por la elevada concentración de ácidos volátiles o por alto contenido de dióxido de carbono.

Para el monitoreo de estos sistemas, la revisión sistemática de la alcalinidad se torna de gran importancia. Ya que una pequeña variación en los niveles de pH implica un consumo elevado en la cantidad de alcalinidad, como resultado de la reacción de la alcalinidad con los ácidos volátiles.

Los valores de alcalinidad en el sistema pueden ser obtenidos a partir de pruebas de laboratorio. En caso de que no se cuente con el equipo de laboratorio necesario para determinarla, se debe contratar los servicios de un laboratorio privado.

En el programa de monitoreo presentado en el cuadro 9-4 se indica que la alcalinidad debe determinarse una vez por semana. Sin embargo, en caso de que se presenten variaciones irregulares en los valores, se debe de incrementar la frecuencia de muestreo, con el objetivo de establecer las causas del problema y así fijar las posibles soluciones.

### **A.1.5 Ácidos grasos volátiles**

Son producidos por la etapa acetogénica de sustancias orgánicas complejas. Un incremento en la producción de éstos puede ocasionar desequilibrio de los reactores anaerobios al reducirse el pH hasta valores muy ácidos y de forma drástica. Lo anterior tiene efecto directo sobre la actividad metanogénica, por lo que es necesario controlar su concentración durante la operación.

Los ácidos volátiles pueden ser obtenidos a partir de pruebas de laboratorio. Al igual que la alcalinidad, en caso de que no se cuente con el equipo para determinarlos, es necesario contratar los servicios de un laboratorio privado.

En el programa de monitoreo presentado en el cuadro 9-4 se indica que deben determinarse una vez por semana. Sin embargo, en caso de que se presenten

variaciones irregulares en los valores, se debe de incrementar la frecuencia de muestreo, con el objetivo de establecer las causas del problema y así fijar las posibles soluciones.

Es importante considerar que los valores de ácidos grasos volátiles pueden verse afectados por una intoxicación del sistema con metales pesados.

### **A.1.6 Relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad**

El proceso de digestión anaerobia ocurre en dos fases básicas, los dos están en equilibrio intrincado. La primera fase de la digestión es la de fermentación ácida y se relaciona a la primera fase en la digestión de nuevos sólidos volátiles que entran en el digester. La segunda fase de digestión, fermentación del metano, ocurre en un ambiente más alcalino y así indicativo de una fase avanzada de la digestión. La proporción de AGV/Alc. es por consiguiente un indicador del progreso de digestión y el equilibrio entre las dos fases.

Esta proporción varía entre las diferentes plantas de tratamiento, normalmente está debajo de 0.1. Si la proporción empieza a aumentar, debido a una superabundancia de ácidos fermentadores, ésta es la primera indicación de problema en el proceso de la digestión. Esto porque los ácidos fermentadores son asociados con la digestión de los nuevos sólidos volátiles que entran en el digester, un aumento en la proporción de AGV/Alc. indica un posible alimento excesivo de lodo crudo al digester. También puede indicar una purga de demasiado lodo digerido (la porción alcalina), dejando así al digester con una sobreproducción de ácidos volátiles.

Los cambios bruscos en esta relación generan variaciones en el valor de pH del sistema, y como se explico anteriormente, esto produce deficiencias en el sistema. Para realizar el ajuste de pH puede emplearse cal, bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) ó soda cáustica NaOH. Debe tenerse cuidado para evitar la precipitación excesiva de los carbonatos de calcio que se forman.

Cuando la relación AGV/Alc. de un digester anaerobio se incrementa por encima de **0.3**, el pH del digester se viene abajo, produciendo así un digester ácido. Aunque es preferible no tomar acciones correctivas y permitir al digester recuperarse naturalmente, esto no siempre es posible debido a la capacidad limitada del digester y/o al tiempo de recuperación. Bajo estas condiciones, la neutralización del digester ácido mediante el uso

de cal puede ser necesaria. Si la neutralización con cal es requerida, la dosificación se determina con base en la cantidad de ácidos volátiles del lodo el volumen de los del digestor. Cada mg/L de ácidos volátiles requiere una dosis de 1 mg/L de cal.

Para este cálculo es necesario conocer el volumen del digestor, y se procede de la siguiente forma:

<b>Dosis de Cal diaria requerida (kg)</b>	$\frac{\text{Ácidos grasos volátiles (mg/L)* Vol. digest. (m}^3\text{)}}{1000}$
-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

### A.1.7 Grasas y aceites

Su determinación cuantitativa es importante ya que estas sustancias son por lo general insolubles y menos densas que el agua, por lo que eventualmente podrían provocar obstrucciones en los equipos utilizados en el sistema de tratamiento.

### A.1.8 Sólidos

Son los residuos que se tienen al evaporar el agua. Según su composición se pueden clasificar en dos grupos generales: sólidos orgánicos e inorgánicos. Además, pueden clasificarse de acuerdo con su condición física en sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.

Realizar un balance de sólidos en el reactor anaerobio, permite determinar la eficiencia de operación del proceso. Una deficiencia en la operación puede deberse a varias razones, una de ellas es el tiempo en que los sólidos permanecen en el reactor. Un tiempo reducido afectará el proceso teniendo sólidos deficientemente digeridos.

Del mismo modo, la medición de los sólidos suspendidos a la salida del sistema, brinda información sobre el funcionamiento del reactor y las condiciones de operación en que se encuentra.

Los sólidos en el sistema pueden ser obtenidos a partir de pruebas de laboratorio, las cuales pueden ser realizadas por el encargado del sistema o contratadas a un laboratorio privado.

### A.1.9 DBO y DQO

Estos parámetros miden la capacidad de biodegradación de la materia orgánica presente en lodos residuales. Son útiles para determinar eficiencia del sistema.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo específico.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar a la materia orgánica de un desecho por medio de un agente oxidante bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en bióxido de carbono y agua. Este parámetro es de mucha importancia, porque permite realizar estimaciones importantes en los procesos de digestión anaerobia.

Es posible establecer una relación entre los valores de DBO y DQO en el sistema, con el objetivo de mantener un control más riguroso y detallado, así como de facilitar la obtención de parámetros. La prueba de DBO tarda al menos 5 días, mientras que la prueba de DQO dura algunas horas.

Los valores de DBO y DQO en el sistema pueden ser obtenidos a partir de pruebas de laboratorio. Al igual que con otros parámetros, estas pueden ser realizadas por el encargado del sistema o contratadas a un laboratorio privado.

### A.1.10 Producción de gas

La medición del volumen del gas producido proporciona información sobre la estabilidad o inestabilidad del proceso anaerobio. Una baja producción indicará problemas en la digestión de lodo residual, la causa puede ser el exceso de ácidos volátiles o la presencia de inhibidores o tóxicos que afectan la actividad de las bacterias formadoras de metano. En caso contrario, si ocurre un marcado aumento en la producción de gas, se puede deber a la presencia de un alto volumen orgánico en el lodo digerido. La medición se realiza directamente, a partir de los medidores de gas, ubicados en las tuberías de gas.

Una forma de establecer la producción de gas en este tipo de plantas de tratamiento es a partir de la siguiente relación:

$$\text{Producción de gas en el digestor} = K * \text{DQO}_{\text{removido}}$$

donde  $K = 0.35 \text{ l / gDQO}_{\text{removido}}$   
 $\text{DQO}_{\text{removido}} = \text{gramos de DQO removidos}$

Se producen 0.35 litros por cada gramo de DQO removido. Utilizando el caudal promedio de trabajo de la planta y la eficiencia del sistema, se puede obtener la cantidad de metros cúbicos de gas producidos diariamente.

## A.2 EQUIPO

Las plantas de tratamiento de este tipo deben de contar con un equipo de trabajo mínimo recomendado, el cual permita realizar las labores de operación y mantenimiento de forma correcta. El operario debe saber la función de cada herramienta en el sistema y como utilizarla. En los cuadros A-1, A-2 y A-3 se presenta el equipo de trabajo, medición y de seguridad mínimo con el que debe contar la planta.

**Cuadro A-1.** Equipo de trabajo recomendado

Pala	Escalera	Rastrillo
Sacho	Manguera	Maquina cortadora de césped
Carretillo	Cubetas	Palo de escoba o similar de 5 m de largo
Cuchillo	Escobón	Tela blanca
Pascón	Cepillo	Metro o varilla graduada
Mascarilla	Botas	Cloro
Guantes	Jabón en polvo	Alcohol

**Cuadro A-2.** Equipo de medición recomendado

Medidor de pH	Cono Imhoff	Termómetro
---------------	-------------	------------

Además, es importante que las instalaciones cuenten con los servicios básicos de agua y electricidad, de lo contrario no es posible implementar el plan de operación y mantenimiento descrito en éste manual.

### **A.3 PERSONAL**

Para la operación correcta y continua del sistema de tratamiento, es necesario contar con el siguiente personal.

Se necesita una persona, mayor de edad, con tercer ciclo aprobado (tercer año de colegio); para realizar las labores de operación y mantenimiento del sistema. La jornada mínima de trabajo para una planta es de cuatro horas.

En sistemas que cuentan con equipos eléctricos valiosos, se recomienda contratar los servicios de una persona que realice las labores de operación y mantenimiento, y a la vez realice labores de vigilancia. Para esto, es aconsejable que viva en la misma propiedad en donde se ubica la planta o muy cerca de ésta.

Previo a la contratación del personal, es necesario realizar una entrevista en donde se indicaran las condiciones de trabajo, las características del sistema y una pequeña descripción del tipo de trabajo que se debe realizar. Una vez que se llegue a un acuerdo con el operario, éste debe someterse a un proceso de capacitación, el cual estará a cargo del encargado directo del sistema o de una empresa especializada en la temática ambiental y sistemas de tratamiento.

Para complementar el proceso de operación y mantenimiento, es necesario contar con la supervisión de un ingeniero con conocimientos en el área de ambiental y sistemas de tratamientos. El ingeniero es el encargado de interpretar los parámetros de control del sistema, realizar los informes de operación de la planta, así como de indicar al operario las acciones a seguir en caso de cualquier eventualidad. Éste debe realizar, como mínimo, una visita por semana a la planta.



## A.4 CAPACITACIÓN

Es necesario que los operarios de las plantas de tratamiento reciban una capacitación adecuada, para que de este modo realicen su trabajo de forma correcta y eficiente. Dicha capacitación debe tratar algunos conceptos básicos, que permitan que el operario comprenda bien la función de su trabajo y la importancia del mismo.

Actualmente, el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) capacita personas para la operación de sistemas de tratamiento. La figura profesional es **técnico (a) en operación de plantas de tratamiento de aguas residuales**, la competencia técnica es operar, controlar y dar mantenimiento a los procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, aplicando los procedimientos e información técnica de los diferentes procesos involucrados (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario), utilizando los equipos, herramientas e instrumentos necesarios.

El programa dura 750 horas y presenta distintos módulos, estos son los siguientes:

- Fundamentos de físico matemática en el tratamiento de las aguas residuales
- Importancia del recurso hídrico
- Química básica en el tratamiento de las aguas residuales
- Mecánica básica en el tratamiento de las aguas residuales
- Gestión ambiental empresarial
- Procesos físico-químicos básicos en el tratamiento de las aguas residuales
- Biología y microbiología básicas en el tratamiento de las aguas residuales
- Procesos biológicos en el tratamiento de las aguas residuales
- Fundamentos para el tratamiento del agua potable
- Control de los procesos en el tratamiento de las aguas residuales
- Operación y mantenimiento básicos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales

En caso de que el operario no cuente con el título de técnico en operación del INA, se le debe brindar una capacitación mínima, que contenga al menos los siguientes temas:

### **A.4.1 Descripción del proceso de producción de las aguas residuales**

Es importante que el operario conozca la composición del tipo de aguas residuales, así como los procesos de formación y sus características principales. Se debe dar una introducción general sobre los parámetros de control del sistema, así como los valores promedio de éstos parámetros para el agua residual de tratada.

### **A.4.2 Procesos de tratamiento**

Se debe introducir al operario a los procesos básicos de funcionamiento del sistema. Debe conocer y entender las etapas por las cuales pasa el agua residual desde que entra al sistema de tratamiento hasta que sale, así como la función de cada proceso. Se deberá incluir un diagrama descriptivo donde estén relacionados los elementos del sistema.

### **A.4.3 Operación y mantenimiento**

Es importante indicar cual debe ser la operación específica de cada proceso, cuales son las labores necesarias para mantener el sistema funcionando de forma correcta y la frecuencia de cada uno de los trabajos. Para esto se recomienda primero una explicación de la operación y mantenimiento por parte del encargado y que se complemente con la entrega de un manual operacional, el cual se encuentre en la planta de tratamiento siempre.

La capacitación de personal puede ser realizada por el encargado directo de la planta de tratamiento, con base en los fundamentos presentados en esta investigación. Además, se recomienda que el manual de operación y mantenimiento de la planta sea éste mismo o uno basado en los principios expuestos en éste.

## **A.5 LABORES DE MANTENIMIENTO**

### **A.5.1 Cámara de entrada**

Se deben limpiar las superficies de concreto cada 2 días, para esto se utiliza un cepillo y agua. En caso de que presente material sedimentado, este debe recogerse con pala y colocarse en el lecho de secado, si la extracción del material es muy difícil se puede utilizar agua a presión en pequeñas cantidades.

Las superficies de concreto se deben inspeccionar una vez a la semana para identificar daños tales como resquebrajamientos, caída de pintura, desgaste o grietas. Las superficies metálicas se deben inspeccionar una vez al año. En ese momento se debe cepillar, limpiar y aplicarles una capa de pintura anticorrosiva. Este tipo de superficies son rejas, tapas y vertedores.

### **A.5.2 Rejillas**

Las rejillas se deben limpiar una vez al día, preferiblemente en la mañana antes de la hora de mayor caudal, esto se puede realizar de forma manual o con el uso de un rastrillo. Los desechos que se obtengan deben colocarse en el lecho de secado. Estas deben ser inspeccionadas de forma detallada una vez por semana, se debe revisar que las superficies de concreto no presenten resquebrajamientos y que las superficies metálicas no estén quebradas o corroídas, en caso contrario deben ser reparadas. Si se presenta un deterioro grave se debe realizar el reemplazo del elemento.

### **A.5.3 Trampa de grasas**

La trampa de grasas debe ser limpiada cada día, mediante el uso de un pascón. Los desechos que se obtengan deben colocarse en el lecho de secado. Estas deben ser inspeccionadas de forma detallada cada semana, se debe revisar que las superficies de

concreto no presenten resquebrajamientos, en caso de que se encuentren dañadas deben ser reparadas.

#### **A.5.4 Sedimentador primario**

Se debe realizar la inspección del sedimentador cada semana. El nivel máximo de lodos presente en esta unidad esta en función del diseño realizado, por lo que puede variar para cada planta de tratamiento, en caso de que no se disponga de este dato se recomienda que el nivel máximo de lodos no sobrepase los 50 cm. En caso de que el nivel de lodos presente sea mayor que el nivel máximo permitido, se debe realizar la purga de los lodos. La forma de evacuación de lodos depende del diseño de la planta y puede ser por gravedad o mediante el uso de un sistema de bombeo.

Para medir el nivel de lodos se utiliza un palo largo, uno de los extremos debe ser envuelto en tela blanca y debidamente sujeta, el tramo de tela cubierta debe ser igual al nivel de lodos máximo permitido. Se debe introducir el palo de forma vertical por una de las tapas de registro o pozo de registro, en caso de cuenta con uno. Debe dejarse cinco minutos y luego retirarse cuidadosamente, después de esto el nivel de lodos puede notarse por las partículas adheridas en la tela, este debe ser medido con un metro o vara graduada. Antes de introducir el palo en el sedimentador, se deben retirar las natas presentes en el tanque.

Es recomendable realizar la purga del sedimentador todos los días. Con esto se previene que el material sedimentado se endurezca, reduciendo así la capacidad de la unidad. Realizando una purga periódica, se garantiza la reducción de los sólidos suspendidos en el sistema.

La estructura debe ser inspeccionada una vez por mes, se debe revisar que las superficies de concreto no presenten resquebrajamientos y que las tapas metálicas no estén quebradas o corroídas, en caso contrario deben ser reparadas.

## **A.5.5 Reactor Anaerobio**

La aplicación del manual se extiende a dos tipos de reactores anaerobios: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA) y Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA). La digestión anaerobia presente en el sistema es muy similar para cada reactor pero la operación puede variar levemente, por lo tanto su operación se describirá de forma separada.

### **A.5.5.1 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)**

Para mantener el reactor trabajando de forma eficiente se debe inspeccionar una vez a la semana la entrada al reactor y verificar que la distribución del flujo sea uniforme. También, que no se encuentren natas ni materia flotante, en caso de que se presenten es necesario revisar el nivel de lodos en el sedimentador primario y realizar la limpieza de la trampa de grasas diariamente.

En caso de que el sistema funcione por bombeo, se debe verificar diariamente que todas las bombas estén libres de obstrucciones, si se nota una disminución en el caudal entregado se debe realizar la limpieza de los impulsores. Del mismo modo se debe realizar la limpieza de los filtros y cedazos, instalados para evitar la obstrucción de las bombas, diariamente.

Para establecer cuando la purga del reactor es necesaria, se debe realizar la inspección directa en el sistema, mediante la cámara de inspección. Esta cámara posee varias válvulas que se encuentran a diferentes niveles, se debe abrir las válvulas y determinar el nivel al que se encuentran los lodos. Es recomendable mantener el nivel de lodos superior a un tercio del volumen del reactor, pero se debe purgar una vez que sobre pase la mitad del volumen.

Otro parámetro que se utiliza para determinar si es necesario realizar la purga de lodos del reactor es mediante la medición de los sólidos sedimentables a la salida del reactor. En este caso es necesario realizar un perfil de lodos del sistema y relacionarlo con los valores de sólidos sedimentables en la salida. Con base en esto se determina a que valor

de sólidos se alcanza el nivel máximo de lodos. Una vez conocida esta relación, basta con medir los sólidos para saber cuando se debe realizar la purga del reactor.

Cada vez que se purga el reactor se debe lavar con manguera. Además, se debe realizar la revisión de los canales de salida y limpiarlos, con cepillo y agua, en caso de que estén sucios.

Adicionalmente, la estructura de concreto debe ser inspeccionada una vez por mes, se debe revisar que las superficies no presenten resquebrajamientos y que las estructuras metálicas no estén quebradas o corroídas, en caso contrario deben ser reparadas. De igual forma, se debe realizar la inspección de las válvulas en el sistema y revisar que no estén dañadas u obstruidas.

#### **A.5.5.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)**

Una vez por semana se debe realizar la inspección de la entrada al FAFA y corroborar que no exista la presencia de materia flotante o natas. En caso contrario, estas deben ser retiradas con el pascón y colocadas en el lecho de secado, también se debe realizar la inspección del sedimentador primario y determinar si se ha sobrepasado el nivel máximo de lodos. Es importante revisar que el flujo sea uniforme en todo el compartimiento de distribución de caudal, así como que no existan materiales que obstaculicen la canaleta de salida.

Para determinar cuando es necesario realizar el retrolavado del FAFA, se debe verificar que el nivel de agua que se desarrolla entre el compartimiento de distribución de caudal y la canaleta de salida del filtro anaeróbico no sobre pase los diez cm. Si la diferencia de nivel sobrepasa los 10 cm. significa que el medio filtrante se encuentra obstruido por lo que debe ser limpiado. La operación de retrolavado deberá repetirse hasta que la diferencia de nivel se elimine sustancialmente.

El retrolavado consiste en hacer pasar el agua en dirección descendente por el filtro anaeróbico, se puede llevar a cabo colocando agua limpia por la parte superior del filtro y de ser posible a presión. Dicha actividad debe de llevarse a cabo en un momento en

donde el caudal de entrada al sistema de tratamiento sea mínimo. Junto con esta acción se puede purgar el filtro abriendo las válvulas de purga por un espacio limitado de tiempo.

En caso de que el sistema de purga funcione mediante bombeo, se debe colocar una manguera conectada a una bomba de succión en la cámara de entrada al filtro por debajo del fondo falso del filtro. Al arrancarse la bomba se produce una succión que hace que el agua en el filtro fluya en dirección descendente, produciendo el retrolavado.

Al igual que en el RAFA, otro parámetro que se utiliza para determinar si es necesario realizar el retrolavado es mediante la medición de los sólidos sedimentables a la salida del FAFA. Nuevamente, se debe establecer una relación entre los sólidos y la cantidad de lodo en el fondo falso y la carga de agua a la entrada del FAFA. Con base en esta relación, basta con medir los sólidos sedimentables para saber cuando se debe realizar el retrolavado.

Del mismo modo, la estructura de concreto debe ser inspeccionada una vez por mes. Se debe revisar que las superficies no presenten resquebrajamiento y que las estructuras metálicas no estén quebradas o corroídas, en caso contrario deben ser reparadas. También, se debe realizar la inspección de las válvulas en el sistema y revisar que no estén dañadas u obstruidas.

### **A.5.6 Quemadores de gas y campanolas**

Es importante realizar el mantenimiento de estas unidades para evitar la generación de malos olores. La producción de gas en este tipo de plantas de tratamiento es de 0.35 litros por cada gramo de DQO removido. Utilizando el caudal promedio de trabajo de la planta y la eficiencia del sistema, se puede obtener la cantidad de metros cúbicos de gas producidos diariamente.

En el caso de los quemadores de gas, se debe encender un fósforo y lentamente abrir la válvula del quemador, hay que colocar el fósforo cerca de la salida de la tubería de salida de gas y esperar a que prenda. Luego se debe dejar quemando por espacio de una hora

o hasta que se extinga la llama. Esta práctica se debe realizar diariamente y en horas de la tarde (3 a 5 p.m.).

Si la planta cuenta con campanolas, se debe cambiar el agua dentro de estas todos los días. Para esto se retiran cuidadosamente, evitando la agitación y se deposita el agua en el punto de salida del efluente. Es importante que a la hora de vaciar el agua no se haga de golpe, esto porque a causa del impacto se desprenden los gases disueltos en el agua y se generan malos olores, el vertido debe ser lentamente y tan cerca del agua como sea posible.

### **A.5.7 Biodigestor**

El lodo producido en los sistemas anaerobios se encuentra bastante reducido. Sin embargo, hay plantas que cuentan con biodigestores de lodos, los cuales complementan el proceso de reducción. Aquí llegan los lodos provenientes del reactor y del sedimentador.

La evacuación de los lodos puede hacerse antes de que proceda una nueva evacuación del reactor o el sedimentador. Es importante estar al tanto de que no se sobrepase la capacidad del biodigestor en caso de que se realice la purga del sedimentador y del reactor en un periodo de tiempo muy corto.

Al igual que en otras estructuras de concreto, las superficies deben ser inspeccionadas una vez por mes, se debe revisar que no presenten resquebrajamientos y que las estructuras metálicas no estén quebradas o corroídas, en caso contrario deben ser reparadas. De igual forma se debe realizar la inspección de las válvulas y revisar que no estén dañadas u obstruidas.



### **A.5.8 Lecho de secado**

Aquí se recibe la evacuación periódica de lodos y materiales recolectados en las labores diarias de mantenimiento. Los lodos que descarguen aquí, deben estar estabilizados para que no presenten molestias de olores ni insectos. Estos, deben ser extendidos por todo el lecho de secado.

Antes de colocar y extender el lodo, hay que aflojar la capa de arena con un rastrillo, para esto se introduce el rastrillo y se mueve la arena hacia delante y hacia atrás varias veces, por toda la superficie del lecho.

Luego de purgar el lodo hacia el lecho, se debe limpiar con agua las tuberías usadas para la extracción, de esta forma puede desprenderse los sólidos que hallan quedado adheridos a las paredes de la misma.

Después de una o dos semanas (dependiendo de las condiciones climáticas) el lodo se encuentra suficientemente seco, cuando esto sucede las grietas en el lodo llegan hasta la capa arena. Bajo estas condiciones, puede ser removido manualmente por medio de pala y utilizado como abono orgánico en las zonas verdes de la planta de tratamiento y/o del residencial, o puede ser simplemente colocado dentro de la planta. Cada vez que se retiran los lodos del lecho, se pierde un poco de arena, debido a esto la arena debe ser repuesta una vez que se llegue a cinco centímetros de espesor.

### **A.5.9 Instalaciones**

Se debe realizar la limpieza de las instalaciones diariamente. Hay que recoger cualquier tipo de basura y colocarla en un basurero.

Las áreas verdes deben presentar un mantenimiento continuo. Se debe cortar el césped cada mes y colocarlo en un lugar apto (hueco o basurero) dentro de la planta. El lodo estabilizado, que se recoge del lecho de secados, puede ser utilizado como abono orgánico para mantener en buenas condiciones estas áreas.

## **A.6 LABORES DE OPERACIÓN**

### **A.6.1 Mediciones de campo**

El operario debe llevar un registro de algunos parámetros, los cuales se mencionan a continuación. Estos deben suministrarse regularmente al encargado de la planta para la elaboración de reportes.

#### **A.6.1.1 Caudal**

Las mediciones deben realizarse diariamente y a diferentes horas, por ejemplo si el primer día se realizaron a las 8:00 a.m. el siguiente puede realizarse a las 8:30 a.m. y así sucesivamente, esto es para tener un registro completo del caudal que entra al sistema. Se debe llevar un registro de estos valores.

#### **A.6.1.2 Temperatura**

Las mediciones deben realizarse en la entrada y en la salida, todos los días y a diferentes horas, de igual forma que en el caso del caudal. Estos resultados deben registrarse para el control del sistema.

#### **A.6.1.3 pH**

Las mediciones deben realizarse en la entrada del sistema, en el reactor anaerobio y a la salida. La frecuencia de muestreo es la misma que la del caudal y en la misma forma. Debe llevarse el registro adecuado de estos valores.

#### **A.6.1.4 Sólidos sedimentables**

Los sólidos sedimentables se miden utilizando el cono Imhoff. Se debe llenar el cono con un litro de muestra, esperar una hora y medir la cantidad de sólidos que ha sedimentado. Una vez realizada la medición debe limpiarse el cono adecuadamente con agua y jabón.

Las mediciones deben realizarse en la entrada y la salida del sistema. La frecuencia de muestreo es la misma que la del caudal y en la misma forma. Debe llevarse el registro adecuado de estos valores.

### A.6.2 Programa de monitoreo de rutina

Para realizar una operación adecuada de un sistema de tratamiento anaerobio, es necesario efectuar un monitoreo apropiado del proceso y, en cuanto sea posible, mantener las condiciones ambientales propicias. El encargado del sistema, es el responsable de realizar cada una de estas pruebas y de su evaluación, con respecto a los parámetros dictados en éste manual.

Se consideraran dos escenarios distintos, para realizar el monitoreo. El primero es cuando el sistema comienza a operar y no se encuentra estabilizado. En este caso, el programa de monitoreo necesario se presenta en el cuadro A-3.

**Cuadro A-3.** Programa de monitoreo de rutina.

Parámetro	Unidad	Frecuencia de Muestreo		
		Afluente	Reactor	Efluente
Producción de biogás	m <sup>3</sup> / d	-	diaria	-
Temperatura	°C	diaria	-	diaria
pH	-	diaria	-	diaria
Sólidos sedimentables	mg / L	diaria	-	diaria
Alcalinidad	mg / L	cuando sea necesario	-	1 cada dos meses
Ácidos grasos volátiles	mg / L	cuando sea necesario	-	1 cada dos meses
Sólidos suspendidos	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
DQO	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
DBO	mg / L	1 cada dos meses	-	1 x mes
Grasas y aceites		-	-	1 x mes

En caso de que la relación AGV / Alc. a la salida del sistema, sea superior a **0.3**, se debe adicionar cal al reactor, para evitar la caída del pH. Si la situación persiste, se debe analizar la relación AGV / Alc. en el afluente.

El segundo escenario, es cuando el sistema se encuentra estabilizado. Esto quiere decir que:

- El sistema alcanzó los niveles de eficiencia de diseño, los cuales se encuentran entre el 70% y 90% para todo el sistema.
- La eficiencia en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, se encuentran en rangos similares.
- Se cumple con la **normativa nacional** de vertido y reuso de aguas residuales

Una vez que la planta presenta éstas características, se puede implementar el sistema de monitoreo descrito en el cuadro A-4.

**Cuadro A-4.** Programa de monitoreo de rutina: sistema estabilizado.

Parámetro	Unidad	Frecuencia de Muestreo		
		Afluente	Reactor	Efluente
Producción de biogás	m <sup>3</sup> / d	-	diaria	-
Temperatura	°C	diaria	-	diaria
pH	-	diaria	-	diaria
Sólidos sedimentables	mg / L	diaria	-	diaria
Alcalinidad	mg / L	-	-	cuando sea necesario
Ácidos grasos volátiles	mg / L	-	-	cuando sea necesario
Sólidos suspendidos	mg / L	-	-	1 x mes
DQO	mg / L	-	-	1 x mes
DBO	mg / L	-	-	1 x mes
Grasas y aceites		-	-	1 x mes

En este caso, la relación AGV / Alc. a la salida del sistema, se realizará cuando el sistema presente una disminución del pH, por debajo de **6.5**.

Si las condiciones descritas anteriormente, con respecto a la estabilización del sistema, varían, se debe implementar nuevamente el programa de monitoreo descrito en el cuadro A-3.

## A.7 RESUMEN DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

A continuación se presenta un cuadro, en donde se resumen las principales labores de operación y mantenimiento del sistema.

**Cuadro A-5 Operación y Mantenimiento del Sistema**

Unidad	Actividad	Frecuencia mínima
Cámara de entrada	Medición de caudal, pH, sólidos sedimentables y temperatura	Diaria
	Limpiar las superficies de concreto	Cada dos días
	Inspección de la estructura: superficies de concreto y de metal	Semanalmente
Rejillas	Retirar la basura Sacar y disponer los residuos	Diaria
	Inspección de la estructura: superficies de metal y de concreto	Semanalmente
Trampa de grasas	Sacar y disponer los residuos	Cada día
	Inspección de la estructura	Semanalmente
Sedimentador primario	Inspección de la estructura: superficies de concreto, superficies metálicas y válvulas	Mensualmente
	Purga de los lodos	Cuando sea necesario
Reactor Anaerobio: <b>RAFA y FAFA</b>	Si funciona por bombeo: limpieza de filtros y cedazos en el sistema de bombeo Medición de pH y temperatura	Diariamente
	Inspección de la entrada: distribución del flujo, natas y material flotante	Semanalmente
	Inspección de la estructura: superficies de concreto, superficies metálicas, válvulas y canales	Mensualmente
	Realizar la purga del reactor (RAFA) Realizar el retrolavado (FAFA)	Cuando sea necesario
Quemadores de gas	Quemar el gas producido	Diariamente
Campanolas	Cambiar el agua	
Biodigestor	Inspección de la estructura: superficies de concreto, superficies metálicas y válvulas	Mensualmente
	Evacuación del lodo	Cuando sea necesario
Lecho de secado	Aflojar la capa de arena	Antes de colocar el lodo
	Extender el lodo por toda la superficie	Después de colocar el lodo
	Remover la capa de lodo	Cuando las grietas llegan a la capa de arena
	Reponer la capa de arena perdida	Cuando el espesor llega a 5 cm.
	Inspección de la estructura: superficies de concreto de metal	Mensualmente
Salida	Medición de pH, sólidos sedimentables y temperatura	Diariamente
Instalaciones	Limpieza de las instalaciones	Diariamente
	Cortar el césped	Cuando sea necesario

## **A.8 CORRECCIÓN DE PROBLEMAS**

Durante la operación normal de este tipo de sistemas, pueden surgir una serie de problemas que disminuyen la calidad del proceso, desfavoreciendo así las condiciones ambientales del efluente y los alrededores.

Las soluciones pueden ser aplicadas directamente por el operario de la planta. Sin embargo, en caso de que las condiciones persistan o de que el problema sea de gran importancia, debe recurrirse al encargado del sistema.

A continuación se presenta un cuadro en donde se indican problemas específicos en el sistema, así como las posibles causas y soluciones.

**Cuadro A-6 Problemas usuales, causas y soluciones**

<b>Problema</b>	<b>Posibles causas</b>	<b>Posibles soluciones</b>
<b>Generación de olores desagradables</b>	Sobrecarga de agua residual con una consecuente reducción del tiempo de retención.	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas.
	Elevadas concentraciones de azufre en el agua cruda.	Analizar la posibilidad de reducir las concentraciones de sulfatos en el sistema.
	Elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles en el reactor, alcalinidad reducida y disminución del pH.	Agregar cal hidratada al sistema, con el objetivo de elevar la alcalinidad del reactor y mantener el pH próximo a 7,0 (6,8 a 7,4)
	Presencia de sustancias tóxicas en el agua.	Localizar y eliminar las fuentes de sustancias tóxicas.
	Disminución brusca de la temperatura del agua.	En el caso de que el reactor este descubierto, evaluar la posibilidad de cubrirlo.
<b>Fluctuación de gránulos</b>	Sobrecarga de agua residual con una consecuente reducción del tiempo de retención.	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas.
	Reiniciación de operación del sistema, después de largos periodos de paralización.	Reiniciar el sistema con la aplicación de menores cargas volumétricas.
<b>Contenido elevado de sólidos suspendidos en el efluente</b>	Sobrecarga de caudal, lo que genera elevadas velocidades superficiales.	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas.
	Elevadas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente.	Verificar la posibilidad de remover los sólidos antes de llegar a los reactores, en caso de que existan sedimentadores se debe revisar su funcionamiento.
	Exceso de sólidos en el reactor.	Realizar la purga de lodos del reactor.
<b>Disminución en la eficiencia del sistema</b>	Sobrecarga de agua residual con una consecuente reducción del tiempo de retención.	Disminuir el caudal del afluente en la unidad con problemas.
	Elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles en el reactor, alcalinidad reducida y disminución del pH	Agregar cal hidratada al sistema, con el objetivo de elevar la alcalinidad del reactor y mantener el pH próximo a 7,0 (en un rango de 6,8 a 7,4)
	Perdida excesiva de sólidos en el sistema, con una consecuente reducción del lecho de lodos.	Disminuir el caudal del efluente en la unidad con problemas, o retirar el reactor de operación por un tiempo.
	Presencia de sustancias tóxicas en el agua.	Localizar y eliminar las fuentes de sustancias tóxicas.
<b>Reducción en la producción de biogás</b>	Fugas en las tuberías de gas	Corregir las fugas
	Obstrucciones en las tuberías de gas	Limpiar las obstrucciones en las tuberías
	Defecto en los medidores de gas	Reparar los medidores de gas
	Elevadas concentraciones de ácidos grasos volátiles en el reactor, alcalinidad reducida y disminución del pH	Agregar cal hidratada al sistema, con el objetivo de elevar la alcalinidad del reactor y mantener el pH próximo a 7,0 (en un rango de 6,8 a 7,4)
	Presencia de sustancias tóxicas en el agua.	Localizar y eliminar las fuentes de sustancias tóxicas.
<b>Proliferación de insectos</b>	Presencia de una capa de espuma, que normalmente se forma en el reactor o en el efluente.	Aplicar dosis adecuadas de algún tipo de insecticida, de modo que no perjudique el funcionamiento del reactor.
		Remover la capa de espuma y enterrarla debidamente.
		En el caso de que el reactor este descubierto, evaluar la posibilidad de cubrirlo.

Fuente: adaptado de Chernicharo, C. 1997.

## **A.9 SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL**

Para mantener el orden y la seguridad en todas las instalaciones del sistema, es necesario implementar las siguientes medidas:

- Mantener todas las áreas de la planta libre de obstáculos que puedan ocasionar caídas.
- No usar ropa o zapatos que puedan ocasionar caídas.
- No fumar o provocar cualquier tipo de chispa o llama en las áreas cercanas al reactor.
- No ingerir alimentos en ninguna de las áreas cercanas al reactor.
- No permitir el acceso de niños o personas no autorizadas a ninguna de las áreas de la planta de tratamiento.
- Desconectar la alimentación eléctrica de las bombas, cuando se ejecuten labores de mantenimiento en ellas y en las tuberías.
- Las cajas de control sólo deben ser operadas por el personal autorizado.
- Cubrir con una capa de tierra el material recolectado en la trampa de grasas y rejillas, para evitar la proliferación de insectos y malos olores.
- Mantener las instalaciones cerradas. Para esto es conveniente utilizar una malla perimetral y colocar candados de seguridad en las entradas principales.
- Utilizar el equipo de seguridad recomendado, cada vez que se realizan las labores de mantenimiento.



## A.10 REPORTE OPERACIONAL

En el caso de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que vierten en cuerpos de agua receptores. La normativa indica que se deben confeccionar reportes operacionales y presentarse periódicamente ante a la División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud. Estos deberán contener como mínimo la siguiente información:

- Registro de aforos
- Registro de análisis de laboratorio
- Registro de accidentes y situaciones anómalas
- Evaluación del estado actual del sistema
- Plan de acciones correctivas

Los parámetros que se deben evaluar para un reporte operacional de una planta de aguas residuales domésticas, se presentan en el siguiente cuadro.

Parámetro	Límite máximo establecido
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> )	50 mg/l.
Potencial hidrógeno (pH)	5 a 9
Temperatura	15 a 40 °C
Grasas y aceites (GyA)	30 mg/l
Sólidos sedimentables (SSed)	1 ml/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	50 mg/l.
Coliformes fecales (CF)	-

**Cuadro A-11:** Parámetros y límites establecidos en aguas residuales domésticas  
**Fuente:** *Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales*. 1997.

En el caso de coliformes fecales, actualmente el *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales* especifica que es obligatoria su detección, únicamente cuando las

aguas residuales son vertidas en cuerpos receptores de agua que son utilizados para actividades recreativas, o si provienen de hospitales o entidades similares.

La frecuencia mínima de los muestreo y análisis se presentan en el siguiente cuadro.

Parámetro	Caudal (m <sup>3</sup> /día)		
	< 50	50 a 100	> 100
pH, Sólidos Sedimentables y Caudal(*)	Mensual	Semanal	Diario
Grasas y aceites DBO <sub>5,20</sub> Sólidos Suspendidos Totales Coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

**Cuadro A-12:** Frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales domésticas  
**Fuente:** *Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales*. 1997.

Se permite una reducción del 50% en las frecuencias indicadas en el cuadro A-12, para aquellos entes generadores que acumulen doce reportes operacionales consecutivos que cumplan con todos los requisitos establecidos. Pero en ningún caso se permiten frecuencias mayores a un año.

A continuación se presenta el esquema de un reporte operacional, con el objetivo de facilitar su aplicación al sistema.

### A.10.1 Esquema de un reporte operacional

#### Departamento de control ambiental Reporte Operacional

##### 1. DATOS GENERALES:

Ente generador: \_\_\_\_\_

Dirección, Provincia y Cantón \_\_\_\_\_

Número de reporte: \_\_\_\_\_

Fecha del reporte: \_\_\_\_\_

Período reportado: del \_\_\_\_\_ al \_\_\_\_\_

Responsable del reporte: \_\_\_\_\_

Disposición de aguas residuales \_\_\_\_\_

##### 2. AFOROS:

Método empleado: \_\_\_\_\_

##### 3. RESULTADOS DE ANALISIS Y AFOROS:

Tipo de medición: \_\_\_\_\_

Parámetros medidos por el ente generador					
	Mediciones (n)	Promedio	Desv. Están.	Mínimo	Máximo
Caudal					
pH					
Temperatura					
SSed					

Parámetros analizados por el Laboratorio Acreditado								
Parámetro	DBO	DQO	pH	T	SST	SSed	GyA	CF
Valor								

**4. REGISTRO DE ACCIDENTES:**

Fecha \_\_\_\_\_

Descripción \_\_\_\_\_

Acción \_\_\_\_\_

Contingente \_\_\_\_\_

**5. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA:****6. PLAN DE ACCIONES CORRECTIVAS:****7. REGISTRO DE PRODUCCION (opcional):**

a) Como producción durante el período reportado: \_\_\_\_\_ (Ton Prod)

b) Como carga contaminante: \_\_\_\_\_ (Kg DBO/Ton Prod) ó (Kg DQO/Ton Prod)

**Anexo B:**  
**INFORMES DE CAMPO Y LABORATORIO**

INFORME DE LABORATORIO: BOSQUES DE SANTA ANA

	<b>18/2/05, Hora: 7:00 a.m.</b>		<b>23/2/05, Hora: 10:30 am</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	8,2	7,2	7,8	7,1
Temperatura	26	24	26	24
Sólidos Totales (mg/l)	320	520	670	510
Sólidos Filtrables (mg/L)	500	500	490	520
Sólidos Disueltos (mg/l)	340	380	300	380
Sólidos Colidales (mg/l)	160	120	190	140
Sólidos Susp. T. (mg/l)	0	20	180	0
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	1	< 0,1	1,8	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	270	86	200	93
D.Q.O (mg/l)	-	-	-	220
Alcalinidad (mg/L)	-	246	-	282
	<b>24/2/05, Hora: 1:10 pm</b>		<b>10/2/05, Hora: 3:15 p.m.</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	7,5	7,2	7,8	7,2
Temperatura	27	27	25,5	26
Sólidos Totales (mg/l)	480	520	550	460
Sólidos Filtrables (mg/L)	340	510	510	450
Sólidos Disueltos (mg/l)	240	390	320	380
Sólidos Colidales (mg/l)	100	120	190	70
Sólidos Susp. T. (mg/l)	140	10	40	10
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	0,4	< 0,1	5	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	230	81	190	68
D.Q.O (mg/l)	-	173	-	-
Alcalinidad (mg/L)	-	252	-	-

Los análisis de DBO del 23 de febrero fueron realizados en el Laboratorio Clínico San Martín.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Bosques de Santa Ana</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	10 de febrero del 2005
Hora de muestreo	3:15 pm
Ubicación	Pozos de Santa Ana
Lugar	Detrás de las bodegas de Mas x Menos

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Ligero mal olor	Ligero mal olor
Color	Blancuzco	Blancuzco, más claro que en la entrada
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	27 °C	
Estado del tiempo	Soleado, despejado con viento moderado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.8	7.2
Temperatura del agua	25,5 °C	26 °C

### OBSERVACIONES

Se presentan un poco de malos olores en la planta y los alrededores pero que no sobrepasan el perímetro de la propiedad en donde ésta se ubica.  
Se observa un poco de espuma en el lugar de la salida del agua, provocado por el agua residual tratada.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Bosques de Santa Ana</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	18 de febrero del 2005
Hora de muestreo	7:00 a.m.
Ubicación	Pozos de Santa Ana
Lugar	Detrás de las bodegas de Mas x Menos

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	Ligero mal olor, similar a agua de caño
Color	Café muy claro	Café muy claro
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	26 °C	
Estado del tiempo	Soleado con poca presencia de nubes	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	8.2	7.2
Temperatura del agua	26 °C	24 °C

### OBSERVACIONES

A la salida del agua de la planta se presenta gran cantidad de espuma, también se presenta espuma en donde se junta el agua tratada y el agua de la quebrada. El caudal de la quebrada es bastante bajo.



## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Bosques de Santa Ana</b>
Nombre de la empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	23 de febrero del 2005
Hora de muestreo	10:30 a.m.
Ubicación	Pozos de Santa Ana
Lugar	Detrás de las bodegas de Mas x Menos

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	No
Color	Café crema muy claro	Café crema muy claro
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	28 °C	
Estado del tiempo	Soleado con pocas nubes	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.8	7.1
Temperatura del agua	26 °C	24 °C

### OBSERVACIONES

En esta visita no se detectaron malos olores en la planta ni alrededores.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Bosques de Santa Ana</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	24 de febrero del 2005
Hora de muestreo	1:10 p.m.
Ubicación	Pozos de Santa Ana
Lugar	Detrás de las bodegas de Mas x Menos

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Si, similar a agua de caño	No
Color	Grisáceo muy claro	No
Turbidez	Si	No
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si, poco	No
Temperatura ambiente	32 °C	
Estado del tiempo	Soleado con pocas nubes	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.5	7.2
Temperatura del agua	27 °C	27 °C

### OBSERVACIONES

El Reactor se purgo el martes anterior (22 de febrero).  
 No hay mal olor en la entrada ni en la salida, pero si en la planta en general y alrededores.  
 En la entrada del agua hay un poco de espuma.  
 En la salida hay presencia de mucha espuma, más que en la entrada.

INFORME DE LABORATORIO: LOMAS DE CURRIDABAT

	<b>4/3/05, Hora: 7:00 a.m.</b>		<b>16/2/05, Hora: 10:30 am</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	8,2	7,2	7,2	6,7
Temperatura	24	23	22	22,5
Sólidos Totales (mg/l)	770	450	470	390
Sólidos Filtrables (mg/L)	550	360	420	220
Sólidos Disueltos (mg/l)	300	300	220	350
Sólidos Colidales (mg/l)	250	60	200	0
Sólidos Susp. T. (mg/l)	220	90	50	170
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	0	< 0,1	5	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	430	110	463	375
D.Q.O (mg/l)	-	200	-	-
Alcalinidad (mg/L)	-	228	-	236
	<b>10/2/05, Hora: 1:00 pm</b>		<b>24/2/05, Hora: 3:15 p.m.</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	7,2	6,7	6,8	7,2
Temperatura	22,5	22,7	24	25
Sólidos Totales (mg/l)	700	410	260	470
Sólidos Filtrables (mg/L)	640	440	200	390
Sólidos Disueltos (mg/l)	300	350	130	330
Sólidos Colidales (mg/l)	340	90	70	60
Sólidos Susp. T. (mg/l)	60	0	60	80
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	0,4	0,2	0	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	260	100	225	122
D.Q.O (mg/l)	-	-	-	250
Alcalinidad (mg/L)	-	-	-	212

Los análisis de DBO del 16 de febrero fueron realizados en el Laboratorio Clínico San Martín.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Lomas de Curridabat</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	10 de febrero del 2005
Hora de muestreo	1:00 p.m.
Ubicación	San José, Curridabat
Lugar	100 m sur de la Iglesia de Barrio la Lía

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Mal olor	Mal olor a aguas residuales
Color	Blancuzco	Blancuzco
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	24 °C	
Estado del tiempo	Soleado, despejado, con viento moderado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.2	6.7
Temperatura del agua	22.5 °C	22.7 °C

### OBSERVACIONES

Se presenta un mal olor alrededor de toda la planta de tratamiento, principalmente sobre reactor anaerobio.  
En la entrada de la planta hay gran cantidad de sólidos suspendidos, grasas y aceites.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Lomas de Curridabat</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	16 de febrero del 2005
Hora de muestreo	10:30 a.m.
Ubicación	San José, Curridabat
Lugar	100 m sur de la Iglesia de Barrio la Lía

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Mal olor, similar a agua de caño	Mal olor, similar a agua de caño
Color	Blancuzco, tipo crema	Blancuzco, entre crema y café
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	25 °C	
Estado del tiempo	Totalmente nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.2	6.7
Temperatura del agua	22 °C	22.5 °C

### OBSERVACIONES

Se presentan malos olores en la planta y los alrededores los cuales sobrepasan el perímetro de la propiedad en donde ésta se ubica.  
 En la entrada de la planta hay gran cantidad de sólidos suspendidos, grasas y aceites.  
 El aspecto del agua de salida es similar al agua de entrada.  
 Se observa espuma en el lugar de la salida del agua, generada por el agua residual tratada.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Lomas de Curridabat</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	24 de febrero del 2005
Hora de muestreo	3:15 p.m.
Ubicación	San José, Curridabat
Lugar	100 m sur de la Iglesia de Barrio la Lía

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Poco olor	Muy mal olor, como a amoniaco
Color	Blancuzco, tipo grisáceo	Entre crema y café
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	27 °C	
Estado del tiempo	Nublado y ventoso	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	6.8	7.2
Temperatura del agua	24 °C	25 °C

### OBSERVACIONES

Mal olor sobre el reactor, principalmente sobre la salida del agua.  
 Existe la presencia de poca espuma a la salida del agua.  
 De repente suelta olores muy fuertes, los que poco a poco se disipan, el olor es similar a amonio.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Lomas de Curridabat</b>
Empresa encargada	Urbanizador
Fecha de muestreo	4 de marzo del 2005
Hora de muestreo	7:00 a.m.
Ubicación	San José, Curridabat
Lugar	100 m sur de la Iglesia de Barrio la Lía

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Si, a aguas residuales	Similar a aguas de caño
Color	Café claro	Blancuzco
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	23 °C	
Estado del tiempo	Soleado, despejado.	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	8.2	7.2
Temperatura del agua	24 °C	23 °C

### OBSERVACIONES

El encargado de mantenimiento estaba realizando labores de limpieza de rejillas y sedimentos. Presencia de mucha espuma en la salida del agua.

INFORME DE LABORATORIO: CIUDAD DE ORO

	<b>12/4/05, Hora: 7:40 a.m.</b>		<b>10/3/05, Hora: 9:30 a.m.</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	7,6	6,9	7,3	7
Temperatura	23	23,5	25	24
Sólidos Totales (mg/l)	740	520	570	440
Sólidos Filtrables (mg/L)	510	500	560	430
Sólidos Disueltos (mg/l)	270	420	310	380
Sólidos Colidales (mg/l)	240	80	250	50
Sólidos Susp. T. (mg/l)	230	20	10	10
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	3	< 0,1	1,5	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	385	228	270	110
D.Q.O (mg/l)	-	490	-	-
Alcalinidad (mg/L)	-	290	-	-
	<b>1/4/05, Hora: 3:00 pm</b>			
	Entrada	Salida		
pH	7,8	7		
Temperatura	25	24		
Sólidos Totales (mg/l)	620	440		
Sólidos Filtrables (mg/L)	460	420		
Sólidos Disueltos (mg/l)	290	380		
Sólidos Colidales (mg/l)	170	40		
Sólidos Susp. T. (mg/l)	160	20		
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	4,5	< 0,1		
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	346	131		
D.Q.O (mg/l)	-	540		
Alcalinidad (mg/L)	-	276		



## INFORME DE LABORATORIO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Ciudad de Oro</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Hora de muestreos	1:00 p.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	Frente al Palí
Sitio de muestreo	Salida de la planta

### PARÁMETROS ANALIZADOS A LA SALIDA DE LA PLANTA

	09/12/05	27/01/05	28/02/05	30/03/05	28/04/05	28/06/05
pH	7,1	7,5	7,0	7,0	6,9	6,5
Temperatura	23	20	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	69	52	42	33	18	12,5
Sólidos Sedim. (ml/l/hr)	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Aceites y Grasas	14	84	28	12	20	38
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	62	84	43	37	21,6	17
D.Q.O (mg/l)	159	194	240	147	127	93

### OBSERVACIONES

Los análisis fueron contratados por la empresa operadora, encargada de la operación y mantenimiento de la planta. Los mismos fueron realizados por el Laboratorio Químico y de Control de Calidad Industrial AQUYLASA.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Ciudad de Oro</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	10 de marzo del 2005
Hora de muestreo	9:30 a.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	Frente al Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	Un fuerte olor a amoniaco
Color	Café claro	Sin color
Turbidez	Si	Poca
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	26 °C	
Estado del tiempo	Soleado con poca presencia de nubes	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.3	7.0
Temperatura del agua	25 °C	24 °C

### OBSERVACIONES

El encargado se encontraba realizando labores de mantenimiento.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Ciudad de Oro</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	1 de abril de 2005
Hora de muestreo	3:00 p.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	Frente al Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	Mal olor, similar a amoníaco
Color	Café claro	Blancuzco, entre crema y gris
Turbidez	Si	No
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	28 °C	
Estado del tiempo	Totalmente nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.8	7.0
Temperatura del agua	25 °C	24 °C

### OBSERVACIONES

El encargado se encontraba realizando labores de mantenimiento.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Ciudad de Oro</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	12 de abril del 2005
Hora de muestreo	7:40 a.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	Frente al Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Si, ligero olor a agua de caño	Mal olor, similar a amoniaco
Color	Café claro	Café-crema muy claro
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	No
Grasas y aceites	Si	No
Temperatura ambiente	22 °C	
Estado del tiempo	Nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.6	6.9
Temperatura del agua	23 °C	23.5 °C

### OBSERVACIONES

El encargado se encontraba realizando labores de mantenimiento.  
La planta tiene dos salidas del reactor (ver diagrama), sale mayor caudal por la salida de la parte superior (al costado norte de la planta).

INFORME DE LABORATORIO: VILLAS DEL SOL

	<b>12/4/05, Hora: 7:00 a.m.</b>		<b>1/4/05, Hora: 9:30 am</b>	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	7,7	6,9	7,5	7,0
Temperatura	23	23	24	24
Sólidos Totales (mg/l)	1000	570	480	500
Sólidos Filtrables (mg/L)	710	520	450	500
Sólidos Disueltos (mg/l)	460	400	230	360
Sólidos Colidales (mg/l)	250	120	220	0
Sólidos Susp. T. (mg/l)	290	50	30	0
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	3	< 0,1	2,5	< 0,1
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	366	300	213	48
D.Q.O (mg/l)	-	506	-	260
Alcalinidad (mg/L)	-	280	-	262
	<b>10/3/05, Hora: 3:00 p.m.</b>			
	Entrada	Salida		
pH	7,1	7,0		
Temperatura	24,5	23,5		
Sólidos Totales (mg/l)	300	490		
Sólidos Filtrables (mg/L)	270	490		
Sólidos Disueltos (mg/l)	180	350		
Sólidos Colidales (mg/l)	90	140		
Sólidos Susp. T. (mg/l)	30	0		
Sólidos Sed. (ml/l/hr)	1,5	0,9		
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	230	105		
D.Q.O (mg/l)	-	-		
Alcalinidad (mg/L)	-	-		

## INFORME DE LABORATORIO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Villas del Sol</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Hora de muestreos	1:00 p.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	150 m este del Palí
Sitio de muestreo	Salida de la planta

### PARÁMETROS ANALIZADOS A LA SALIDA DE LA PLANTA

	09/12/05	27/01/05	28/02/05	30/03/05	28/04/05	28/06/05
pH	6,9	7,3	6,7	6,9	6,6	6,9
Temperatura	23,1	20	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos T. (mg/l)	102	88	88	116	79	41
Sólidos Sedim.(ml/l/hr)	0,4	0,1	< 0,1	1,4	< 0,1	< 0,1
Aceites y Grasas	24	34	47	55	29	21
DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	99	150	62	80	83	61
D.Q.O (mg/l)	266	302	330	294	284	289

### OBSERVACIONES

Los análisis fueron contratados por la empresa operadora, encargada de la operación y mantenimiento de la planta. Los mismos fueron realizados por el Laboratorio Químico y de Control de Calidad Industrial AQUYLASA.

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Villas del Sol</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	10 de marzo del 2005
Hora de muestreo	3:00 p.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	150 m este del Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	No
Color	Gris muy claro	Café muy claro
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	Si
Grasas y aceites	No	No
Temperatura ambiente	24 °C	
Estado del tiempo	Parcialmente nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.1	7.0
Temperatura del agua	24.5 °C	23.2 °C

### OBSERVACIONES

Se presentan malos olores en la planta y los alrededores.  
 En el agua de la salida hay presencia de sólidos suspendidos, los que al parecer provienen del Reactor Anaerobio (material metanogénico)

## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Villas del Sol</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	1 de abril de 2005
Hora de muestreo	9:30 a.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	150 m este del Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	No	No
Color	Gris muy claro	Café muy claro
Turbidez	Si	Si, poco
Sólidos suspendidos	Si	Si, poco
Grasas y aceites	No	No
Temperatura ambiente	32 °C	
Estado del tiempo	Parcialmente nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.5	7.0
Temperatura del agua	24 °C	24 °C

### OBSERVACIONES

Se presentan malos olores en la planta y los alrededores.  
En el momento de la visita, el operario se encontraba limpiando el lecho de lodos.



## INFORME DE CAMPO

### DATOS GENERALES

Nombre del Residencial	<b>Villas del Sol</b>
Empresa encargada	Empresa especializada
Fecha de muestreo	12 de abril del 2005
Hora de muestreo	7:00 a.m.
Ubicación	Cartago, Pitahaya
Lugar	150 m este del Palí

### DATOS DE CAMPO

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Tipo de muestreo	Simple	Simple
Olor	Si, ligero olor a aguas residuales	Si, fuerte olor a amonio
Color	Gris-café muy claro	Café claro
Turbidez	Si	Si
Sólidos suspendidos	Si	Si
Grasas y aceites	No	No
Temperatura ambiente	19.5 °C	
Estado del tiempo	Nublado	

### PARÁMETROS ANALIZADOS

#### Pruebas de Campo

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
pH	7.7	6.9
Temperatura del agua	23 °C	23 °C

### OBSERVACIONES

En el agua de la salida hay presencia de sólidos suspendidos, estos salen por momentos en grandes cantidades y luego baja la intensidad. Al parecer provienen del Reactor Anaerobio (material metanogénico)

**Anexo C:**  
**ENCUESTAS**

**Descripción de la Operación y el Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.****Planta:** Bosques de Santa Ana**Fecha:** 06/05/05**Operario:** Joaquín Mendoza**Ente Administrador:** Urbanizador**Aspectos Generales:**

- 1) *¿Cuánto tiempo tiene de trabajar en esta Planta de Tratamiento?*  
Desde hace seis meses trabajo en este lugar.
- 2) *¿Recibió usted alguna capacitación y/o entrenamiento antes de realizar las labores de operación y mantenimiento de esta planta? En caso de que sí, indique de que tipo y descríbalas brevemente.*  
El operario anterior me explico lo básico, me enseñó las válvulas y cual es para cada cosa, las bombas y como funciona el tablero de control. Además, un ingeniero de Durman Esquivel que para purgar el reactor tenia que revisar las válvulas y hacerlo cuando saliera lodo.
- 3) *¿Cuántas horas diarias y/o semanales trabaja usted en la planta de tratamiento?*  
Vivo aquí en la planta, por lo tanto estoy 24 horas al día.
- 4) *¿Cuantas veces por semana recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado de la planta?*  
Actualmente no recibo indicaciones sobre la operación por parte de nadie. Hace dos meses el AyA solicito un control sobre el pH, temperatura y sólidos sedimentables.
- 5) *¿Sabe usted lo que son los reportes operacionales? ¿Cada cuánto se realizan en esta planta?*  
Realmente no se que es ni para que son.

**Aspectos Específicos:**

- 6) *¿Indique cuál es el equipo de trabajo con que cuenta la planta de tratamiento?*  
Pala, carretillo, guantes, cuchillo, mascarilla, escalera, pascón, sacho, manguera, cubetas, escobón, llaves, botas, jabón en polvo, cloro, alcohol. También equipo de medición de sólidos, pH y temperatura.
- 7) *¿Cada cuánto limpia las rejillas de la entrada?*  
Una vez al día, todos los días a las 5:30 a.m.
- 8) *¿Cada cuánto limpia la trampa de grasas de la entrada?*  
Dos veces por semana en la mañana.
- 9) *¿Donde dispone los sólidos y flotantes recolectados en la trampa de grasas y rejillas?*  
En un hueco dentro de la propiedad, está destapado pero le tiro tierra cada vez tiro algo. Cuando se llena abro otro.
- 10) *¿Cada cuánto realiza mediciones de pH y en qué procesos?*  
Desde hace dos meses las realizo, las hago todos los días en la entrada y la salida.

- 11) *¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos del desarenador? En promedio, ¿cuántas veces por mes/año lo lleva a cabo?*  
Lo hago cuando comienza a oler mal y suelta burbujas. En promedio se hace entre cada 20 a 25 días.
- 12) *¿Cuál es el mantenimiento que se le da al Reactor/Filtro Anaerobio? ¿Cada cuánto se realizan estas labores?*  
Se revisan las canaletas en la parte superior y se lavan cuando están sucias. Se revisan los elementos metálicos que no tengan corrosión y si hay que cambiar alguno se cambia. Reviso que no hallan fugas en las tuberías y si hay las reparo. También reviso las válvulas, que se encuentren en buen estado y no se peguen. Cada vez que purgo el reactor cambio el agua que esta dentro de las campanolas (para la recolección de biogás) y limpio el reactor con manguera.
- 13) *¿Cómo sabe cuando tiene que purgar los lodos Reactor/Filtro Anaerobio? Aproximadamente, ¿cada cuánto tiempo lo lleva a cabo?*  
Reviso las válvulas del reactor y cuando el agua sale muy negra y con lodo lo hago. Se hace como cada mes, a veces un poco más.
- 14) *¿Cuánto tiempo mantiene los lodos en el lecho antes de recogerlos y cuál es el mantenimiento que se le da al lecho una vez que los retira?*  
Los lodos duran como cinco días aproximadamente, pero depende mucho del estado del tiempo. Cuando están secos se sacan, luego se mueve la arena de lecho para acomodarla de forma que pueda filtrar bien el agua.
- 15) *¿A donde se llevan los lodos una vez que se hallan secado en el lecho?*  
Los coloco dentro de la propiedad, en cualquier parte.

### **Aspectos Físico-Químicos:**

#### **Ingeniero/Encargado/Responsable:**

- 16) *¿Qué pruebas físico-químicas realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
Sólo se realizan las pruebas que indica el *Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales*. Se hacen cada año aproximadamente.
- 17) *¿Cuál es la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV / Alc) del Reactor/Filtro? ¿Con qué frecuencia se determina esta relación?*  
No se hace.
- 18) *¿Cuáles pruebas de actividad metanogénica realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
No se hace.
- 19) *¿Se determina el perfil de lodos? ¿Con qué frecuencia se determina?*  
No se hace.

### ***Descripción de la Operación y el Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.***

**Planta:** Lomas de Curridabat

**Fecha:** 10/05/05

**Operario:** José Antonio Udiel

**Ente Administrador:** Urbanizador

#### **Aspectos Generales:**

- 1) *¿Cuánto tiempo tiene de trabajar en esta Planta de Tratamiento?*  
Desde hace cinco años, desde que se construyó la planta.
- 2) *¿Recibió usted alguna capacitación y/o entrenamiento antes de realizar las labores de operación y mantenimiento de esta planta? En caso de que sí, indique de que tipo y descríbala brevemente.*  
Al inicio el ingeniero me indico cual era el procedimiento. Además, conozco mucho de la planta porque trabaje en la construcción.
- 3) *¿Cuántas horas diarias y/o semanales trabaja usted en la planta de tratamiento?*  
Trabajo como 50 horas por semana, vengo como tres días por semana a la planta.
- 4) *¿Cuantas veces por semana recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado de la planta?*  
El viene muy pocas veces, porque ya me ha dado todas las indicaciones
- 5) *¿Sabe usted lo que son los reportes operacionales? ¿Cada cuánto se realizan en esta planta?*  
No se que son. A veces vienen personas a tomar muestras, creo que del AyA, pero no se para que es.

#### **Aspectos Específicos:**

- 6) *¿Indique cuál es el equipo de trabajo con que cuenta la planta de tratamiento?*  
Pala, guantes, cuchillo, escalera, pascón, cubetas, botas, máquina para cortar césped.
- 7) *¿Cada cuánto limpia las rejillas de la entrada?*  
Tres veces por semana, en la mañana.
- 8) *¿Cada cuánto limpia la trampa de grasas de la entrada?*  
Tres veces por semana, en la mañana.
- 9) *¿Donde dispone los sólidos y flotantes recolectados en la trampa de grasas y rejillas?*  
En un hueco dentro de la propiedad, está destapado pero le tiro tierra y hojas cada vez tiro algo.
- 10) *¿Cada cuánto realiza mediciones de pH y en qué procesos?*  
No.
- 11) *¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos del desarenador? En promedio, ¿cuántas veces por mes/año lo lleva a cabo?*  
Nunca se ha hecho.

- 12) *¿Cuál es el mantenimiento que se le da al Reactor/Filtro Anaerobio? ¿Cada cuánto se realizan estas labores?*  
Sólo, en ocasiones, cierro y abro las válvulas para que no se peguen.
- 13) *¿Cómo sabe cuando tiene que purgar los lodos Reactor/Filtro Anaerobio? Aproximadamente, ¿cada cuánto tiempo lo lleva a cabo?*  
Nunca se ha purgado
- 14) *¿Cuánto tiempo mantiene los lodos en el lecho antes de recogerlos y cuál es el mantenimiento que se le da al lecho una vez que los retira?*  
Nunca se ha utilizado.

**Aspectos Físico-Químicos:****Ingeniero/Encargado/Responsable:**

- 15) *¿Qué pruebas físico-químicas realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
Sólo se realizan las pruebas que indica el *Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales*. Se hacen cada seis meses aproximadamente.
- 16) *¿Cuál es la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV / Alc) del Reactor/Filtro? ¿Con qué frecuencia se determina esta relación?*  
No se hace.
- 17) *¿Cuáles pruebas de actividad metanogénica realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
No se hace.
- 18) *¿Se determina el perfil de lodos? ¿Con qué frecuencia se determina?*  
No se hace.

**Descripción de la Operación y el Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.****Planta:** Ciudad de Oro**Fecha:** 07/05/05**Operario:** Sebastián Cabrera**Ente Administrador:** Empresa especializada**Aspectos Generales:**

- 1) *¿Cuánto tiempo tiene de trabajar en esta Planta de Tratamiento?*  
Desde hace cinco meses.
- 2) *¿Recibió usted alguna capacitación y/o entrenamiento antes de realizar las labores de operación y mantenimiento de esta planta? En caso de que sí, indique de que tipo y descríbalas brevemente.*  
Sí, sobre el sistema de tratamiento de la planta y la operación. De cómo mantener la planta limpia y sobre las pruebas que se sacan.
- 3) *¿Cuántas horas diarias y/o semanales trabaja usted en la planta de tratamiento?*  
Trabajo en dos plantas a la vez y visito las dos todos los días. Una por la mañana y la otra por la tarde. Son como 4 un día por la mañana y 2.5 al día siguiente por la tarde.
- 4) *¿Cuántas veces por semana recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado de la planta?*  
Una vez por semana.
- 5) *¿Sabe usted lo que son los reportes operacionales? ¿Cada cuánto se realizan en esta planta?*  
Sí, la ingeniera algo me ha dicho sobre eso. Creo que si se están sacando.

**Aspectos Específicos:**

- 6) *¿Indique cuál es el equipo de trabajo con que cuenta la planta de tratamiento?*  
Pala, carrito, cuchillo, mascarillas, pascón, cubetas, botas, máquina para cortar césped. También equipo de medición de sólidos y pH.
- 7) *¿Cada cuánto limpia las rejillas de la entrada?*  
Todos los días.
- 8) *¿Cada cuánto limpia la trampa de grasas de la entrada?*  
Todos los días.
- 9) *¿Dónde dispone los sólidos y flotantes recolectados en la trampa de grasas y rejillas?*  
En el lecho de lodos, una vez que están secos los saco.
- 10) *¿Cada cuánto realiza mediciones de pH y en qué procesos?*  
Se hacen todos los días en la entrada y en la salida. También se mide los sólidos sedimentables y el caudal.
- 11) *¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos del desarenador? En promedio, ¿cuántas veces por mes/año lo lleva a cabo?*  
No se han purgado los lodos porque las válvulas están malas.

- 12) *¿Cuál es el mantenimiento que se le da al Reactor/Filtro Anaerobio? ¿Cada cuánto se realizan estas labores?*  
Se revisan y pintan todos los elementos metálicos.
- 13) *¿Cómo sabe cuando tiene que purgar los lodos Reactor/Filtro Anaerobio? Aproximadamente, ¿cada cuánto tiempo lo lleva a cabo?*  
No se han purgado los lodos porque las válvulas están malas, estamos esperando a que las traiga la municipalidad. Como no se puede purgar se retiran todos los sólidos que flotan con el pascón.
- 14) *¿Cuánto tiempo mantiene los lodos en el lecho antes de recogerlos y cuál es el mantenimiento que se le da al lecho una vez que los retira?*  
Los lodos que se colocan aquí es todo lo que se recoge en las rejillas, trampa de grasas y flotantes del sedimentador y filtro. Se dejan como una semana, hasta que estén secos.
- 15) *¿A donde se llevan los lodos una vez que se hallan secado en el lecho?*  
Se colocan en sacos para abono orgánico o para rellenar huecos dentro de la planta.

**Aspectos Físico-Químicos:**  
**Ingeniero/Encargado/Responsable:**

- 16) *¿Qué pruebas físico-químicas realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
Las pruebas que se realizan actualmente son en la planta son DBO, DQO, SST, SSed., pH, temperatura, grasas y aceites.
- 17) *¿Cuál es la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV / Alc) del Reactor/Filtro? ¿Con qué frecuencia se determina esta relación?*  
Esta relación debe determinarse, sin embargo actualmente no se ha hecho porque apenas se encuentra estabilizando el sistema.
- 18) *¿Cuáles pruebas de actividad metanogénica realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
No se hacen, esto porque las aguas domésticas tienen una actividad metanogénica muy baja.
- 19) *¿Se determina el perfil de lodos? ¿Con qué frecuencia se determina?*  
No se hace.



### ***Descripción de la Operación y el Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.***

**Planta:** Villas del Sol

**Fecha:** 07/05/05

**Operario:** Benito Torres

**Ente Administrador:** Empresa especializada

#### **Aspectos Generales:**

- 1) *¿Cuánto tiempo tiene de trabajar en esta Planta de Tratamiento?*  
Desde hace cinco meses.
- 2) *¿Recibió usted alguna capacitación y/o entrenamiento antes de realizar las labores de operación y mantenimiento de esta planta? En caso de que sí, indique de que tipo y descríbalas brevemente.*  
Sí, sobre el sistema de tratamiento de la planta y la operación. De cómo mantener la planta limpia. También de cómo utilizar el material que me entregan.
- 3) *¿Cuántas horas diarias y/o semanales trabaja usted en la planta de tratamiento?*  
Trabajo en dos plantas a la vez y visito las dos todos los días. Una por la mañana y la otra por la tarde. Son como 4 un día por la mañana y 2.5 al día siguiente por la tarde.
- 4) *¿Cuantas veces por semana recibe indicaciones por parte del ingeniero encargado de la planta?*  
Una vez por semana.
- 5) *¿Sabe usted lo que son los reportes operacionales? ¿Cada cuánto se realizan en esta planta?*  
Sí, creo que si se están sacando.

#### **Aspectos Específicos:**

- 6) *¿Indique cuál es el equipo de trabajo con que cuenta la planta de tratamiento?*  
Pala, carrito, cuchillo, mascarillas, pascón, cubetas, botas, máquina para cortar césped. También equipo de medición de sólidos y pH.
- 7) *¿Cada cuánto limpia las rejillas de la entrada?*  
No hay rejillas, pero si se limpia la caja de distribución de la entrada todos los días.
- 8) *¿Cada cuánto limpia la trampa de grasas de la entrada?*  
Todos los días se recogen flotantes del sedimentador.
- 9) *¿Donde dispone los sólidos y flotantes recolectados?*  
En el lecho de lodos, una vez que están secos los saco.
- 10) *¿Cada cuánto realiza mediciones de pH y en qué procesos?*  
Se hacen una vez por semana en la entrada y todos los días en la salida. También se mide los sólidos sedimentables.
- 11) *¿Cómo sabe cuándo tiene que purgar los lodos del desarenador? En promedio, ¿cuántas veces por mes/año lo lleva a cabo?*  
No se han purgado los lodos porque se necesita de una bomba para sacarlos y no hay.

- 12) *¿Cuál es el mantenimiento que se le da al Reactor/Filtro Anaerobio? ¿Cada cuánto se realizan estas labores?*  
Se revisan y pintan todos los elementos metálicos.
- 13) *¿Cómo sabe cuando tiene que purgar los lodos Reactor/Filtro Anaerobio? Aproximadamente, ¿cada cuánto tiempo lo lleva a cabo?*  
No se han purgado los lodos porque se necesita de una bomba para sacarlos y no hay. Como no se puede purgar se retiran todos los sólidos que flotan con el pascón.
- 14) *¿Cuánto tiempo mantiene los lodos en el lecho antes de recogerlos y cuál es el mantenimiento que se le da al lecho una vez que los retira?*  
Los lodos que se colocan aquí son los flotantes que se recogen del sedimentador y el filtro. Se dejan de una a dos semanas, hasta que estén secos. Luego se limpia el lecho.
- 15) *¿A donde se llevan los lodos una vez que se hallan secado en el lecho?*  
Se colocan dentro de la planta.

**Aspectos Físico-Químicos:**  
**Ingeniero/Encargado/Responsable:**

- 16) *¿Qué pruebas físico-químicas realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
Las pruebas que se realizan actualmente son en la planta son DBO, DQO, SST, SSed., pH, temperatura, grasas y aceites.
- 17) *¿Cuál es la relación ácidos grasos volátiles / alcalinidad (AGV / Alc) del Reactor/Filtro? ¿Con qué frecuencia se determina esta relación?*  
Esta relación debe determinarse, sin embargo actualmente no se ha hecho porque apenas se encuentra estabilizando el sistema.
- 18) *¿Cuáles pruebas de actividad metanogénica realiza? ¿Con qué frecuencia las realiza?*  
No se hacen, esto porque las aguas domésticas tienen una actividad metanogénica muy baja.
- 19) *¿Se determina el perfil de lodos? ¿Con qué frecuencia se determina?*  
No se hace.