

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

INFORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD

**“EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN
COCORÍ, CARTAGO”**

(MUNICIPALIDAD DE CARTAGO)

PAULA BRENES ALTAMIRANO

CARTAGO, 2002



“EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN COCORÍ, CARTAGO”

Informe presentado a la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por **Paula Brenes Altamirano** como requisito parcial para optar al título de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología.

Miembros del Tribunal

MSc. Alma Deloya

Profesora Guía

Ing. Jorge Araya

Representante Municipalidad
de Cartago

PhD. Silvia Soto

Lectora

DEDICATORIA

A DIOS que me ha permitido

llegar hasta aquí.

A mi familia, especialmente

a mi mamá por su

apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesora tutora, MSc. Alma Deloya, por su apoyo y dedicación durante la elaboración de este proyecto y por ser además una persona con la cual se puede contar siempre.

Al Ing. Jorge Araya, por permitirme realizar mi Práctica de Especialidad bajo su dirección y por el apoyo brindado durante la elaboración de la misma.

A la PhD. Silvia Soto por el tiempo dedicado a la lectura y revisión de este documento.

A las diferentes personas que estuvieron ahí, cuando realmente necesité las más sinceras palabras de apoyo, en especial a María Fernanda y Dafne.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Proceso biológico anaerobio	6
4.2. Factores que afectan el tratamiento anaerobio	9
4.2.1. Temperatura	9
4.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)	10
4.2.3. Nutrientes	11
4.2.4. Anaerobiosis.....	12
4.2.5. Compuestos tóxicos	13
4.2.6. Nivel de carga	14
4.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	15
4.4. Componentes de las aguas residuales municipales	17
4.4.1. Microorganismos	17
4.4.2. Sólidos	18
4.4.3. Componentes inorgánicos	18
4.4.4. Materia orgánica	18
4.5. Parámetros Físico–Químicos considerados durante la Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Urbanización Cocori.....	19
4.5.1. Caudal	19
4.5.2. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	19
4.5.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)	20
4.5.4. Sólidos	21

4.5.4.1. Sólidos totales	22
4.5.4.2. Sólidos suspendidos totales (SST).....	22
4.5.4.3. Sólidos sedimentables (SSed)	22
4.5.5. Ácidos grasos volátiles (AGV's)	23
4.5.6. Alcalinidad	23
4.5.7. Grasas y Aceites.....	24
4.5.8. Actividad Metanogénica.....	25
4.5.9. Naturaleza del Lodo.....	25
4.6. Microbiología de las Aguas Residuales durante el Proceso Anaerobio	26
5. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA URBANIZACIÓN COCORI DE CARTAGO	28
5.1. Desarenador	30
5.2. Sedimentación primaria.....	30
5.3. Caseta de bombeo.....	31
5.4. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	31
5.5. Lecho de secado de lodos.....	32
6. METODOLOGÍA.....	34
6.1. Determinación de caudal.....	34
6.2. Análisis físico – químicos realizados al sistema de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Cocori de Cartago.....	34
7. RESULTADOS	37
7.1. Determinación de caudal	37
7.2. Parámetros físico-químicos.....	39
7.3. Determinación del olor y color en las diferentes unidades del sistema de tratamiento	52
8. DISCUSIÓN	53
8.1. Efecto del caudal en el sistema de tratamiento.....	53
8.2. Análisis físico-químicos	54
8.2.1. Temperatura y Potencial de hidrógeno (pH).....	54
8.2.2. Turbiedad.....	55
8.2.3. Olor	56
8.2.4. Color	57

8.2.5. Sólidos Sedimentables (SSed).....	57
8.2.6. Sólidos totales	58
8.2.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	58
8.2.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	59
8.2.9. Grasas y Aceites.....	60
8.2.10. Carga Orgánica (CO) y Carga orgánica volumétrica (COV).....	60
8.2.11. Ácidos Grasos Volátiles y Alcalinidad.....	61
8.2.12. Coliformes fecales	64
9. CONCLUSIONES.....	65
10. RECOMENDACIONES	67
11. BIBLIOGRAFÍA	69
12. ANEXOS	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de las bacterias metanogénicas	11
Cuadro 2. Parámetros de diseño del sistema anaerobio de la Urbanización Cocorí, Cartago	27
Cuadro 3. Caudales horarios y diarios de la Planta de Tratamiento Cocorí	35
Cuadro 4. Tiempo de Retención en el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente a lo largo de una semana	37
Cuadro 5. Temperatura y pH en el influente al sistema y en el influente y efluente del filtro	38
Cuadro 6. Turbiedad en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	41
Cuadro 7. Sólidos Sedimentables en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	42
Cuadro 8. Sólidos Totales en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	43
Cuadro 9. Grasas y Aceites (G y A), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) del influente al sistema y del influente y efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	44
Cuadro 10. Carga Orgánica y Carga Orgánica Volumétrica del influente y efluente del Filtro Anaerobio en términos de DBO y DQO	46
Cuadro 11. Eficiencia del sistema de tratamiento en términos de DBO, DQO, ST, SSed y Grasas y Aceites	47
Cuadro 12. Ácidos Grasos Volátiles y alcalinidad del efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	47
Cuadro 13. Valores de coliformes fecales en el influente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de descomposición del sustrato en un proceso anaerobio ...	7
--	---

Figura 2. Esquema del funcionamiento general de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	15
Figura 3. Observación de lodo granular en un filtro anaerobio tipo UASB	24
Figura 4. Muestra de lodo observado en un Microscopio Electrónico	26
Figura 5. Esquema del flujo de agua residual en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	31
Figura 6. Diagrama de puntos de muestreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	33
Figura 7. Curvas del caudal diario y horario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	36
Figura 8. Curva del caudal promedio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	36
Figura 9. Perfil de temperatura en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, en diferentes fechas de muestreo	40
Figura 10. Perfil de pH en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, en diferentes fechas de muestreo	40
Figura 11. Variación de los Sólidos Sedimentables (SSed) en diferentes fechas de evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí	43
Figura 12. Comportamiento de la DBO en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio	45
Figura 13. Comportamiento de la DQO en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio	45
Figura 14. Comportamiento de las Grasas y Aceites en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio	46
Figura 15. Relación entre Ácidos Grasos Volátiles (meq/L) y el pH del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	48

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación se define como el vertido de desechos sólidos o líquidos, el depósito de cualquier material u otras acciones que causen deterioro o incrementen del grado del mismo, tanto en la calidad de las aguas, como en los suelos y atmósfera, alterando las características físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas propias de cada área.

La contaminación del agua se define como la alteración de las características perjudicial que afecta al medio ambiente acuático, la salud humana, los recursos naturales, comunidades urbanas, rurales, procesos industriales, economía y desarrollo de un lugar determinado.

La contaminación del agua se ha visto agravada durante los últimos años debido al incremento en las actividades humanas que de una u otra forma afectan los cuerpos receptores de la misma. Se ha visto también que este tipo de deterioro ha aumentado las posibilidades de tener impactos negativos normalmente denominados desastres naturales, ocasionados por las actividades principalmente atmosféricas que ocurren en el medio ambiente.

Debido a lo mencionado anteriormente, es que se lucha por disminuir estos efectos, además, de contribuir con ello al desarrollo de la economía, el mantenimiento de la salud pública y la conservación de los recursos.

A pesar del desarrollo y el uso de nuevas tecnologías en los países en desarrollo aún se descargan las aguas residuales sin tratar en las diferentes fuentes receptoras o si es el caso en la red de alcantarillado sanitario de la comunidad. Debido a la gran cantidad de descargas las fuentes receptoras pierden la capacidad de autodepurarse, rompiendo así el equilibrio natural que se presenta en ellas, es por ello que surge la necesidad de devolver al agua las características propias de un agua de calidad por medio del tratamiento

“artificial” de la misma.

En Costa Rica ha implementado una serie de mecanismos que favorecen la conservación de los recursos como lo es el Reglamento sobre Vertido y Reuso de Aguas Residuales. El Reglamento entró en vigencia por medio del Decreto N° 26042 –S- MINAE, en el que se especifica los límites de las descargas de aguas residuales tanto industriales como ordinarias.

En el caso de las aguas residuales ordinarias o domésticas en el reglamento mencionado anteriormente se establecen como parámetros de control obligatorio la DBO, DQO, Grasas y Aceites (G y A), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSed), pH, la Temperatura y los coliformes fecales.

El tratamiento biológico durante los últimos años se ha consolidado como uno de los mas usados para tratar cuerpos de agua contaminados. Dentro de los diferentes tipos de tratamiento se encuentra el anaerobio que es de gran importancia ya que tiene porcentajes de remoción por lo general son altos y soporta altas cargas orgánicas.

Este informe presenta la evaluación realizada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, ubicada en el sector sur de la Provincia de Cartago. El sistema de tratamiento consta de un desarenador como tratamiento primario, dos sedimentadores que trabajan en paralelo como parte del tratamiento secundario y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) como parte del tratamiento terciario que se le proporciona al agua residual.

Para realizar el estudio se usó los siguientes parámetros de control: DBO, DQO, G y A, ST, Ssed, pH, Temperatura, color, olor y turbiedad.

2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de tratar las aguas residuales surge en todos los países del mundo, debido a que la acción mitigante de la dilución de las aguas negras en los cuerpos receptores, se disminuye conforme crece la población y se obtienen una mayor cantidad de desechos, es por ello que es necesario implementar métodos que ayuden en la depuración de las aguas y que además no provoquen mayor contaminación ambiental, como lo son los métodos de tratamiento biológicos utilizados durante los últimos años.

Debido al tipo de suelo presente en la zona sur de Cartago que no permite la construcción de tanques sépticos en cada uno de los hogares, es que desde hace algunos años la Municipalidad de la Provincia de Cartago ha determinado que la construcción de las Urbanizaciones en este sector incluyan un sistema para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que anteriormente se descargaban a los ríos sin ninguna clase de tratamiento previo, afectando directamente a la flora y fauna predominante en esta región.

Sin embargo, por motivos inherentes al sistema de presupuesto no se había tomado las riendas en cuanto al manejo de los sistemas de tratamiento existentes, por lo que aunque se ha tenido porcentajes de eficiencia en el tratamiento del agua residual de aproximadamente 35%, el sistema no cumple con la normativa establecida para la descarga de la misma a los ríos que en último término son los que se encargan de eliminar el resto de los contaminantes presentes, deteriorando así esta capacidad de los mismos.

Es por ello que se ha creado un programa con el cual se administre adecuadamente los sistemas de tratamiento y se busque la eficiencia de los mismos garantizando la protección y recuperación de los recursos naturales de la zona. Así mismo con el fin de determinar los parámetros operacionales para

el buen control y mantenimiento del sistema de tratamiento.

Este proyecto tiene como objetivo fundamental la evaluación del sistema de tratamiento utilizado en esta comunidad tanto físicamente como en las condiciones en las cuales trabaja para tener un funcionamiento eficiente que a la vez cumpla con la normativa nacional de descarga de aguas residuales domésticas.

A pesar de que tiene aproximadamente 5 años de estar en funcionamiento no se cuenta con los valores de los parámetros de operación necesarios para realizar las operaciones de control y mantenimiento necesarias para alcanzar los porcentajes de eficiencia del sistema requeridos para el cumplimiento de la legislación vigente.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar en términos físico-químicos la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Urbanización Cocorí, con el fin de determinar la eficiencia del sistema.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la DBO, DQO, pH, temperatura, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, Ácidos Grasos Volátiles (AGV's), alcalinidad y coliformes fecales, en los procesos de tratamiento, con el fin de determinar el porcentaje de eficiencia en el tratamiento del agua residual, el comportamiento del sistema y su estabilización.
- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente para la descarga de aguas domésticas, comparándolos con la normativa vigente.
- Plantear posibles modificaciones a la planta de tratamiento para aumentar la eficiencia del sistema.
- Verificar la Carga Hidráulica del influente y su influencia en la eficiencia del sistema de tratamiento.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. A menudo, la eliminación de compuestos a nivel de traza que puedan resultar tóxicos, también constituye un objetivo de tratamiento importante (Metcalf & Eddy, 1996).

La mayor parte de los componentes orgánicos de las aguas residuales sirven como alimento (sustrato) que proporciona energía para el crecimiento microbiano. Este es el principio que se utiliza en el tratamiento biológico de los residuos, en donde ciertos microorganismos, principalmente bacterias, transforman el sustrato orgánico en dióxido de carbono, agua y células nuevas. Los microorganismos pueden ser aerobios (necesitan oxígeno libre), anaerobios (no requieren oxígeno libre) o facultativos (crecen con o sin oxígeno) (Henry y Heinke, 1999).

Las aguas residuales municipales, llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos (Henry y Heinke, 1999).

4.1. PROCESO BIOLÓGICO ANAEROBIO

En los procesos anaerobios diferentes especies bacterianas realizan una serie de reacciones de digestión de la materia y fermentación de la misma.

En el tratamiento anaerobio se degradan los compuestos orgánicos a productos

con un alto contenido de energía (metano, alcohol etílico, etc.) Este fenómeno involucra procesos metabólicos que son menos eficientes que en el metabolismo aerobio (Wasser, 1995).

Algunas ventajas de los procesos anaerobios respecto a los aerobios es que suministran energía útil en forma de metano, que la producción de lodos es de solo el 10% de la que tiene lugar en los procesos aerobios para transformar la misma cantidad de materia orgánica y que provee un alto grado de estabilización de la materia orgánica.

La conversión de la materia orgánica se produce en cuatro etapas, cada una de las cuales se observa en la figura 1 y se describe a continuación (Wasser, 1995).

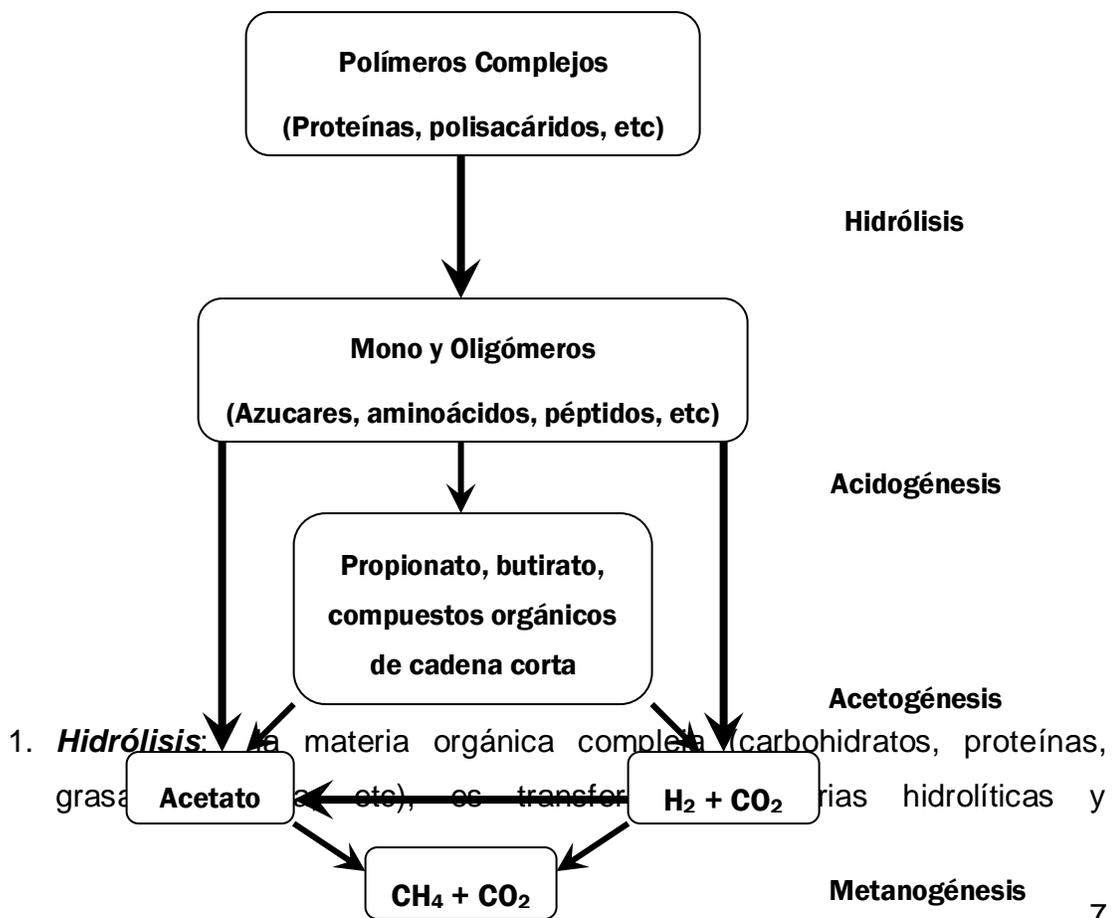


Figura 1. Etapas de descomposición del sustrato en un proceso anaerobio (Wasser, 1995).

fermentativas hasta compuestos orgánicos más simples. Las grandes moléculas son hidrolizadas por enzimas extracelulares, debido a que son demasiado grandes para penetrar por la membrana celular, estos compuestos poliméricos son hidrolizados hasta monómeros tales como: azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos y ésteres, los que atraviesan fácilmente la membrana celular de las bacterias fermentativas (Valerín, 2002).

2. **Acidogénesis:** las bacterias fermentativas metabolizan dentro de la célula los anteriores monómeros. Generalmente, solo una pequeña cantidad de la energía potencial en la materia orgánica es utilizada para la fermentación. Una gran porción de la misma (cerca del 80%) es excretada fuera de la célula en forma de alcoholes, ácidos grasos volátiles y gas hidrógeno. El resultado total de la fermentación es la conversión de sustratos neutros, tales como azúcares y aminoácidos en ácidos orgánicos relativamente fuertes (Valerín, 2002).
3. **Acetogénesis:** en esta etapa aparecen las bacterias acetogénicas que toman estos compuestos y los introducen a sus células, oxidándolos anaeróbicamente hasta ácido acético y gas hidrógeno los cuales son excretados fuera de la célula. Por lo tanto una parte del ácido acético e hidrógeno producidos proviene de la acidogénesis y otra de la acetogénesis (Valerín, 2002).
4. **Metanogénesis:** ambos compuestos son tomados por las bacterias metanogénicas y metabolizados a metano (CH₄), que a su vez es excretado fuera de la célula (Valerín, 2002).

A causa de la baja tasa de crecimiento celular y de la conversión de la materia

orgánica en gas metano y dióxido de carbono, la materia sólida resultante suele estar bastante bien estabilizada. Esto la convierte, en un material apto para el compostaje, o para la aplicación al terreno (Metcalf & Eddy, 1996).

Una operación estable en un digestor requiere que los grupos de bacterias mencionados anteriormente tengan un equilibrio dinámico (Sosa *et al.*, 2002).

Los cambios en las condiciones ambientales pueden afectar este equilibrio, y resultar en un aumento de microorganismos intermediarios que pueden inhibir el proceso (Sosa *et al.*, 2002).

La biomasa que se forma en los reactores anaerobios adopta una estructura característica que se denomina lodo granular, constituida por el complejo de poblaciones bacterianas.

4.2. FACTORES QUE AFECTAN EL TRATAMIENTO ANAEROBIO

El proceso anaerobio depende de ciertos factores que determinan el éxito del tratamiento de las aguas residuales como lo son la temperatura, anaerobiosis, potencial de hidrógeno (pH), nutrientes y los compuestos tóxicos.

4.2.1. Temperatura

De acuerdo con la temperatura los ambientes anaeróbicos pueden dividirse en

tres: psicrófilos (0-20 °C), mesófilos (20-40 °C) y termófilos (45-65 °C). Las bacterias en este caso se consideran dentro del grupo de los mesófilos por lo que tienen una actividad mayor a los 35 °C aproximadamente (Valerín, 2002).

Los niveles de reacción química y biológica normalmente aumentan con el incremento de la temperatura, por lo que en un reactor anaerobio un aumento en la misma puede significar un aumento en la cantidad de materia orgánica procesada por día. Por esta razón se dice que, la actividad de las bacterias metanogénicas se multiplica con un factor de aproximadamente 2.5 cada 10 °C. Por lo tanto, un aumento en la temperatura, no sólo reduce el tiempo de retención celular necesario para alcanzar un nivel de tratamiento adecuado, sino que también reduce el tiempo de detención hidráulica asociado, lo cual permite disponer de reactores de menor volumen (Metcalf & Eddy, 1996).

Sin embargo, un aumento exagerado de la temperatura puede significar el descenso de la actividad metabólica de las bacterias, debido a la degradación de las enzimas, lo que es crítico para las células (Sosa *et al.*, 2002).

Las bacterias metanogénicas son más sensibles a los cambios de temperatura que otros organismos en el digestor, debido a que los demás grupos de bacterias crecen más rápido, como las acetogénicas, las cuales pueden alcanzar un catabolismo sustancial, incluso a bajas temperaturas (Sosa *et al.*, 2002).

4.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)

Está dado por el grado de acidez o basicidad del agua. Se mide mediante la concentración de iones hidrógeno (H^+ y OH^-) presentes en el agua expresado por la función:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

donde: pH= intensidad de acidez o alcalinidad medido
 $[H^+]$ = concentración de iones hidronios (H^+)(mol/l)

El rango de pH óptimo es de 6.6 a 7.6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas, estos se acumulan y disminuyen el pH en el digestor. Sin embargo, el equilibrio CO_2 -bicarbonato opone resistencia al cambio de pH (Sosa *et al.*, 2002).

4.2.3. Nutrientes

Para realizar el proceso se requiere de ciertos nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento. En ausencia de estos se limita el crecimiento, desarrollo, multiplicación y digestión de las bacterias (Valerín, 2002).

En la tabla 1 se observa la composición inorgánica de las bacterias metanogénicas, lo que a su vez indica el requerimiento de esos micronutrientes por las mismas.

Cuadro 1. Composición de las bacterias metanogénicas

Elemento	Concentración (mg/kg células)	Elemento	Concentración (mg/kg células)
Macronutrientes		Micronutrientes	
Nitrógeno	65000	Hierro	1800
Fósforo	15000	Níquel	100
Potasio	10000	Cobalto	75
Sulfuro	10000	Molibdeno	60
Calcio	4000	Zinc	60
Magnesio	3000	Manganeso	20
		Cobre	10

Fuente: Wasser, 1995

Además de una fuente de carbono orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes (Sosa *et al.*, 2002).

4.2.4. Anaerobiosis

Las bacterias metanogénicas son estrictamente anaerobias, razón por la cual es fundamental mantener la ausencia de oxígeno disuelto en el reactor.

4.2.5. Compuestos tóxicos

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones, afectan la digestión y disminuyen los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados (Sosa *et al.*, 2002).

Un nutriente esencial también puede ser tóxico si su concentración es muy alta. En el caso del nitrógeno, mantener un nivel óptimo para garantizar un buen funcionamiento sin efectos tóxicos es particularmente importante (Sosa *et al.*, 2002).

Aunque los compuestos clorados son muy tóxicos, lo son aun más y en más bajas concentraciones (menos de 1 mg/L) los compuestos que tienen una estructura similar a la del metano (CH₄) como el CCl₄, el CH₂Cl₂ y el CH₃Cl (Wasser, 1995).

El cianuro que al igual que el cloroformo es tóxico para las bacterias metanogénicas pero su toxicidad es menor para los otros microorganismos anaeróbicos. Cuando la concentración de este compuesto no es muy alta puede ocurrir adaptación de las bacterias, pero esta se puede perder si se suspende el contacto del lodo con el cianuro (Wasser, 1995).

El formaldehído puede desnaturalizar proteínas y en altas concentraciones puede hacer fallar un reactor anaerobio, este se puede remover mediante un sistema aerobio, o aplicar altas temperaturas y subir el pH para transformarlo en azúcar y/o una mezcla de formato y metanos (Wasser, 1995).

El sulfito no puede exceder los 100 mg/L, pero puede ser transformado por bacterias sulfato-reductoras a H₂S, que es menos tóxico.

El oxígeno se considera muy tóxico para las bacterias productoras del metano, que son anaerobios obligados, su presencia puede ocasionar disminución de la actividad metanogénica del lodo y poco crecimiento de la biomasa (Wasser, 1995).

Los ácidos grasos volátiles (AGV's) son tóxicos solo en su forma no ionizada. A un pH entre 7 y 8 se encuentran mayoritariamente en su forma ionizada, si el pH disminuye estos se disocian e inhiben la Metanogénesis (Wasser, 1995).

4.2.6. Nivel de carga

Este parámetro es calculado como la materia seca total o materia orgánica que es cargada o vertida diariamente por metro cúbico de volumen de digestor. La materia orgánica o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la materia seca total o sólidos totales (ST), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 500 °C. Los sólidos volátiles contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de materia seca total no debe exceder el 10 % en la mayoría de los casos, es por esto que en algunos casos la materia orgánica a digerir debe ser diluida en agua antes de ser tratada (Sosa *et al.*, 2002).

4.3. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

El reactor anaerobio de lecho fijo es un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales en el que la biomasa metanogénica es retenida en el interior del reactor mediante su adhesión en forma de biopelícula o atrapamiento de los flóculos bacterianos en los intersticios de un soporte inerte que rellena el digestor y a través del cual se hace pasar el agua residual para su depuración. Este relleno puede ser desordenado, constituyendo el proceso conocido como Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente o FAFA (Wasser, 1995).

El FAFA es un tanque de relleno con un material de empaque y con lodo anaeróbico el cual se retiene en el reactor por sus propiedades de sedimentación, o por su forma de crecimiento en torno al material de empaque, el cual puede ser cualquier material inorgánico inerte con una superficie específica grande (Wasser, 1995).

El agua ingresa al filtro en forma continua y permanece en su interior durante períodos de tiempo variables, obteniéndose como ventaja importante que el fango estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y patógenos y no es putrescible. Debido a que el agua es alimentada desde el fondo del tanque se pone en contacto con el lodo y la degradación ocurre en el lecho del mismo, y en la parte superior del tanque es retenida la biomasa por la presencia del material filtrante (Metcalf & Eddy, 1996).

Por otro lado el lodo que ha sido estabilizado se deposita en el fondo del filtro, por lo que el agua se extrae por la parte de arriba del filtro (Metcalf & Eddy, 1996). En la figura 3 se muestra un esquema representativo de un FAFA.

Según Metcalf y Eddy (1996), los parámetros operación más utilizados para un filtro anaerobio como lo son la DQO de entrada que puede estar dentro de un

rango aproximado de 10 000 y 20 000 mg/L, un tiempo de retención hidráulica que va desde las 24 a las 48 horas, una carga orgánica que varía entre 0.96 y 4.80 g de DQO/L día y debe tener un porcentaje de eliminación de DQO entre 75 y 85%.

Se puede hablar de algunas ventajas comparativas con respecto a otros sistemas de tratamiento utilizados para depurar las aguas residuales como lo son (Valerín, 2002):

- La puesta en marcha puede ser muy rápida.
- Los filtros son muy estables frente a sobrecargas, tanto hidráulicas como orgánicas.
- Debido a la inmovilización de biomasa se pueden alcanzar cargas orgánicas muy elevadas.
- La pérdida de biomasa activa del filtro es menor que en otros sistemas.

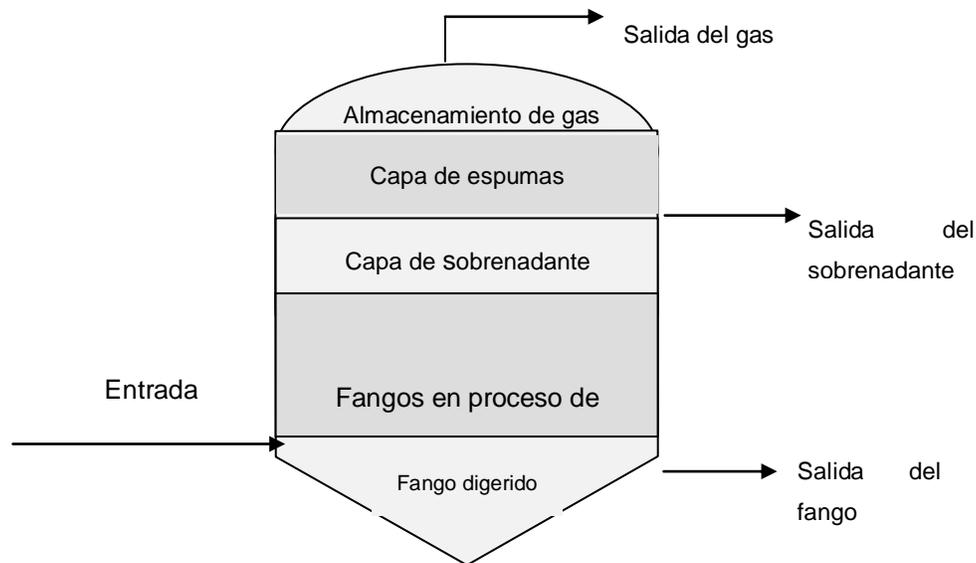


Figura 2. Esquema del funcionamiento general de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Tomado de Metcalf & Eddy (1996).

4.4. COMPONENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Las aguas negras provienen del agua residual de la comunidad más una cierta cantidad de agua de lluvia, y está constituida por una proporción variable de los siguientes tipos:

- a. Agua domiciliaria: baños, cocinas, lavabos, servicios.
- b. Residuos comerciales: restaurantes, garages, etc.
- c. Residuos industriales.
- d. Infiltración, precolación y lluvias.

El volumen de agua residual es muy variable y depende de las características de la región, hábitos de vida, costumbres de la población, cultura, industrialización, clima, entre otras cosas, por lo que se dice que, las condiciones locales determinan las variaciones estacionales, mensuales, diarias y horarias de las aguas negras (Unda, 1999).

Las aguas negras están compuestas en gran proporción por materia orgánica e inorgánica, sólidos y microorganismos.

4.4.1. *Microorganismos*

Las aguas negras proporcionan un ambiente ideal para una inmensa colección de microbios, sobre todo bacterias, más algunos virus y protozoarios. La mayor parte de los microorganismos son inofensivos y se pueden emplear en procesos biológicos para transformar la materia orgánica en productos finales estables (Henry y Heinke, 1999).

Por otra parte, pueden incluir organismos patógenos, lo que las hacen potencialmente peligrosas para la salud de la comunidad.

4.4.2. Sólidos

Las aguas negras pueden ser concentradas o diluidas, dependiendo de la naturaleza de los sólidos contenidos y de la cantidad de agua en la cual se encuentran en suspensión (Unda, 1999).

Los sólidos en las aguas negras pueden encontrarse en suspensión, estado coloidal o disueltos. Los coloides de las aguas negras tienen su origen principalmente en precipitados de jabón, materias fecales, sustancias orgánicas finamente divididas provenientes del suelo, desperdicios, aceite, grasas, arcilla y otros residuos industriales.

4.4.3. Componentes inorgánicos

Los más comunes en las aguas residuales municipales son:

1. *Cloruros y sulfatos*: presentes normalmente en el agua y residuos generados por humanos.
2. *Nitrógeno y fósforo*: en residuos de humanos, con fósforo adicional de los detergentes.
3. *Carbonatos y bicarbonatos*: normalmente presentes en el agua y en los residuos como sales de calcio y magnesio (Henry y Heinke, 1999).

4.4.4. Materia orgánica

Las proteínas y carbohidratos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas negras domésticas. Las fuentes de estos contaminantes biodegradables incluyen los excrementos y orina humanos, los residuos de alimentos de los fregaderos, el polvo y la suciedad procedente del baño y del lavado de la ropa, más varios jabones, detergentes y otros productos de limpieza (Henry y Heinke, 1999).

4.5. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS CONSIDERADOS DURANTE LA EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN COCORI

4.5.1. Caudal

Este parámetro es fundamental para realizar proyecciones en cuanto al tamaño y diseño de las instalaciones necesarias para la recogida, tratamiento y evacuación de las aguas residuales.

El caudal se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que ingresa a un sistema de tratamiento y debe ser medido en forma horaria para establecer así los perfiles de caudal diario en sector de ubicación del reactor a evaluar (Soto, 2002).

4.5.2. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los

microorganismos en fase de estabilización de la materia orgánica para que esta sea oxidada, en un período de tiempo determinado.

Para el análisis de laboratorio se utiliza la DBO_5 , que consiste en la determinación del oxígeno consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando se descompone la materia orgánica a 20 °C en un período de cinco días. Generalmente se reporta en miligramos por litro (mg/L) (Kiely, 1999).

La oxidación biológica es un proceso lento. En un periodo de 20 días se completa la oxidación del 95 al 99 % de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO se llega a oxidar entre el 60 y el 70%. Se asume la temperatura de 20 °C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador (Metcalf & Eddy, 1996).

4.5.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)

Mide la cantidad de oxígeno consumido por un agente oxidante químico fuerte (dicromato o permanganato de potasio) en un medio ácido, para degradar la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua y es reportada en mg/L.

Este ensayo debe realizarse a elevadas temperaturas, sin embargo, para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es necesario emplear un catalizador (por lo general sulfato de plata) (Metcalf & Eddy, 1996).

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su DBO correspondiente, esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por la vía química frente a los que se oxidan por la vía biológica (Metcalf & Eddy, 1996).

4.5.4. Sólidos

Los particulados orgánicos e inorgánicos en las aguas residuales son sedimentables, flotantes y en suspensión, capaces de formar depósitos de aspecto desagradable y bancos de lodo olorosos y reducir la penetración de la luz en el agua (Henry y Heinke, 1999).

Con este parámetro de control es posible medir la concentración y estado físico de los principales contaminantes de las aguas residuales, así como también hace posible determinar la eficiencia del sistema de tratamiento.

Existen diferentes tipos de sólidos de los cuales los más importantes durante el establecimiento del proyecto, son los siguientes:

4.5.4.1. Sólidos totales

Es la materia que se obtiene como residuo al evaporar la muestra de agua a una temperatura que puede oscilar entre 103°C y 105°C.

Estos sólidos pueden ser clasificados como filtrables y no filtrables haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

4.5.4.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

Son los sólidos que se obtienen al hacer pasar una muestra de agua de volumen conocido a través de un filtro de membrana o un fibra de vidrio Whatman GF/C, con un poro de 1.2 micrómetros. Luego de este proceso el papel debe ser secado a una temperatura de 103°C por un período que varía entre 12 a 15 horas.

Esta clase de sólidos puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.

4.5.4.3. Sólidos sedimentables (SSed)

Son aquellos sólidos que sedimentan en el fondo de un cono Imhoff en el transcurso de 60 minutos en condiciones de reposo, por la acción de la gravedad. Se expresan en ml/L.

Constituye una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá

luego de la decantación primaria del agua residual.

4.5.5. Ácidos grasos volátiles (AGV's)

Los ácidos grasos volátiles son productos intermedios de la digestión anaerobia. Se producen cuando la materia orgánica se descompone durante la etapa de acidificación, por lo que son productos excretados por bacterias anaerobias que se encargan del proceso de acidificación de la materia que se encuentra en el reactor.

Los ácidos grasos volátiles se consideran tóxicos en su forma no ionizada. A un pH dado existe un equilibrio entre las formas ionizadas ($A^- + H^+$) y las no ionizadas (HA). A los valores de pH generalmente deseados en un sistema anaerobio (entre 7 y 8), los ácidos orgánicos están mayormente (>99%) en la forma ionizada es decir no son tóxicos. Cuando el pH disminuye, los AGV están en la forma menos disociada. A un pH de 5, los AGV están disociados en un 50% aproximadamente. Los AGV's se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L), y se recomienda que estos no sobrepasen los 8 meq/L (Wasser, 1995).

4.5.6. Alcalinidad

Se refiere a la capacidad del agua de regular o amortiguar los cambios de pH durante el proceso. La mayoría de las aguas residuales presentan su propia capacidad de regular el pH (excepto aguas residuales provenientes de beneficios e industrias lecheras) y actuar como sustancias buffer. Compuestos como carbonatos (CO_3^{2-}), carbonatos ácidos (HCO_3^-) e hidróxilos (OH^-)

presentes en el agua contribuyen con la alcalinidad.

Se determina por la concentración de carbonatos, ya sean de calcio o de sodio (CaCO_3 ó NaCO_3).

En sistemas anaerobios debe existir una alcalinidad suficiente para que el pH no descienda de 6, que es el límite para la inhibición de las bacterias metanogénicas. Mientras que la digestión anaerobia prosiga con normalidad, la alcalinidad oscilará entre 1000 y 5000 mg/L (Metcalf & Eddy, 1996). Generalmente, se expresa como carbonato de calcio en mg/L.

4.5.7. Grasas y Aceites

Mide la cantidad de grasas y aceites que se encuentran en el agua residual. Estas partículas interfieren con la vida biológica de las aguas superficiales y pueden crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables. También provocan problemas de obstrucción de las redes de alcantarillado y problemas en el mantenimiento de la planta de tratamiento.

4.5.8. Actividad Metanogénica

Se define como la cantidad de sustrato convertido a metano por unidad de lodo, en un tiempo determinado. Usualmente, se expresa en: $\text{Kg DQO}_{\text{CH}_4} / \text{Kg SSV lodo} \cdot \text{día}$ (Wasser, 1995).

La actividad metanogénica específica es la actividad bajo condiciones ideales (temperatura, pH, una adecuada concentración de nutrientes y sustrato, etc) (Wasser, 1995).

Dentro de este parámetro se debe tomar en cuenta la concentración de los lodos para conocer la capacidad metanogénica presente en el reactor (Wasser, 1995).

El conocimiento de la actividad metanogénica del lodo o capacidad metanogénica, es de gran importancia, por ejemplo, para el cálculo de la cantidad de inóculo que se requiere para el inicio de un reactor (Mansur, 1998).

4.5.9. Naturaleza del Lodo

Se pueden distinguir tres categorías generales de lodo basándose en el grado en el cual las partículas del mismo se agregan:

1. *Lodo disperso*: no hay agregado de partículas del lodo, con poca sedimentación.
2. *Lodo floculento*: agregado en flóculos sueltos y sedimentación intermedia.
3. *Lodo granular*: agregado de gránulos compactos y excelente sedimentación (Figura 3).

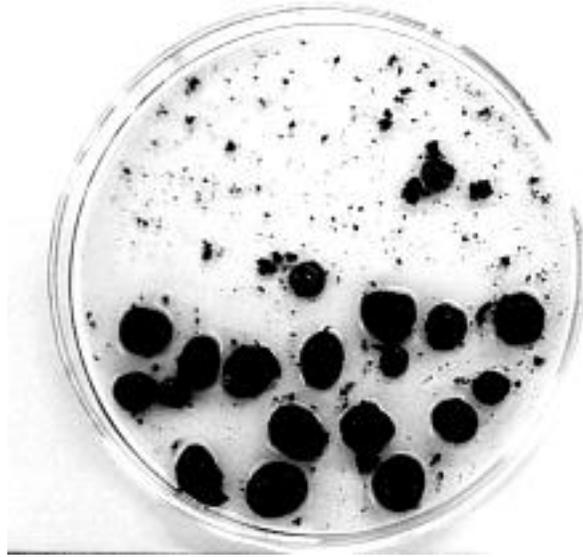


Figura 3. Observación de lodo granular en un filtro anaerobio tipo UASB.
Tomado de Guerra (1998)

4.6. MICROBIOLOGÍA DE LAS AGUAS RESIDUALES DURANTE EL PROCESO ANAEROBIO

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se consiguen, biológicamente gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular. Dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por decantación (Metcalf & Eddy, 1996).

Durante la realización de este estudio el grupo de microorganismos de interés es el de las bacterias, debido a que son las responsables de la depuración del agua residual en el sistema.

Sus tasas de metabolismo son elevadas y bajo las condiciones ambientales adecuadas, predominan sobre hongos y protozoos.

Las bacterias anaerobias degradan los compuestos orgánicos hasta productos con alto contenido de energía (metano), esto se debe a que estos procesos metabólicos son menos “eficientes” que los aerobios. Esta ineficiencia es una ventaja en los sistemas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos anaerobios, ya que al tener menos energía disponible para el crecimiento celular, se produce menos materia celular por unidad de sustrato consumido, lo que hace que la acumulación del lodo sea menor, además de liberar productos de alto contenido energético que pueden ser utilizados como combustible. Pero debido a esto se deben incrementar los tiempos de retención para que el tratamiento sea eficiente y que el agua residual tenga el contacto suficiente con el lodo bacteriano presente.

El proceso anaerobio se lleva a cabo mediante la acción conjunta de diferentes grupos de bacterias (hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas) como se mencionó anteriormente.

En los digestores, los recuentos de organismos metanogénicos viables varían por lo común de 10^5 a 10^8 /ml y, albergan representantes de todos los géneros conocidos de organismos metanogénicos, con la excepción del género marino recientemente descrito *Methanogenium*. Todos oxidan el H_2 (derivado en ocasiones de la descomposición del ion fórmico), con la reducción del CO_2 a CH_4 , siendo algunas especies capaces de producir CH_4 a partir de los grupos de metilo del acetato y del metanol. Las bacterias metanogénicas son los organismos anaerobios de más difícil cultivo, y por ello su conocimiento es relativamente escaso (Tratamiento Biológico de los Residuos, 2002).

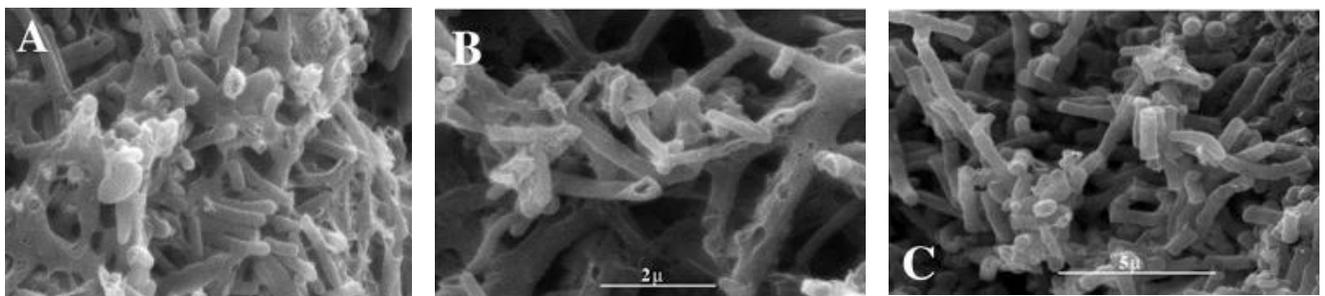


Figura 4. Muestra de lodo anaerobio observado en un Microscopio Electrónico. Tomado de Sanz (2002).

Con objeto de mantener un sistema de tratamiento anaerobio que establezca correctamente el residuo orgánico, los microorganismos formadores de ácidos y de metano se deben encontrar en un estado de equilibrio dinámico. Para mantener dicho estado, el contenido del reactor deberá carecer de oxígeno disuelto y estar libre de concentraciones inhibitorias de constituyentes tales como los metales pesados y los sulfuros, además los valores de pH deben ajustarse entre 6.6 y 7.6 (Metcalf y Eddy, 1996).

5. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA URBANIZACIÓN COCORÍ DE CARTAGO

El sistema utilizado para el tratamiento de las aguas residuales de la Urbanización Cocorí es anaerobio, el cual se compone de un desarenador, dos Sedimentadores Primarios en Paralelo, una Caseta de Bombeo Automático de Agua, un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) en dos Etapas y un Lecho de Secado de Lodos. Este sistema recibe el aporte de las aguas residuales de la comunidad la cual tiene aproximadamente 7500 habitantes con un promedio de gasto de agua por día de 250 litros por persona.

Los parámetros de diseño del sistema se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de diseño del sistema anaerobio de la Urbanización Cocorí, Cartago (1997).

MÓDULO	PARÁMETRO	DATOS DE DISEÑO (1997)
Sistema completo	Q máximo	22.92 l/s
	Q diario	11.46 l/s
Sedimentador primario	Carga hidráulica	990 m ³ /d
	Q máximo	62.8 m ³ /h
	TRH	12 a 18 horas
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	TRH	4.65 h
Filtro Anaerobio (primario)	Q máximo	107.2 m ³ /h
	Capacidad de sedimentación	33.0 m ³
Filtro Anaerobio (secundario)	Q máximo	94.4 m ³ /h
	Capacidad de sedimentación	36.8 m ³

Fuente: Manual de Operaciones

5.1. DESARENADOR

Los aportes de agua residual son recibidos por gravedad primero en una caja de registro, luego pasa a un desarenador que posee en el fondo un desnivel de aproximadamente 0.5% con respecto al nivel del terreno de construcción. Tiene como función principal la retención de partículas sólidas de gran tamaño que no pueden ser “tratadas”. Estas son retenidas en un sistema de rejillas que tienen separaciones de aproximadamente 25 mm (Anexo).

Por otra parte, se cuenta con un sistema de compuertas para desviar el flujo del canal cuando se necesite realizar operaciones de limpieza y revisión del sistema.

5.2. SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

La sedimentación primaria es parte de lo que constituye el tratamiento primario y consiste en la separación, por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. En la mayoría de los casos el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado (Metcalf & Eddy, 1996).

La planta de tratamiento de la Urbanización Cocorí posee dos unidades de sedimentación en paralelo, las cuales cuentan con tapas que facilitan las operaciones de limpieza de los módulos, por otro lado, el flujo de agua puede ser desviado para que pase por sólo una de las unidades para facilitar la labor de limpieza (Ver Anexo).

Ambas unidades poseen una válvula independiente la cual se utiliza durante la

descarga de lodos que se depositan en el fondo de las mismas. Estos poseen una capacidad máxima de 62.8 m³ de los cuales 23.6 m³ son para la sedimentación de lodos y tiene una profundidad de 1.75 m.

5.3. CASETA DE BOMBEO

En esta área del sistema se cuenta con un pozo que tiene una profundidad de 2.30 m, en el cual entra en agua que proviene de los sedimentadores para ser bombeada hacia el Filtro Anaerobio por medio de dos bombas. Estas con las siguientes características: Modelo D31620, sumergibles para sólidos de hasta 5 cm, con succión, tuberías de salida, alimentación eléctrica, tablero de control con protectores térmicos de tipo Telemecanique, sistema dúplex, y operan alternadamente o en conjunto para superar los picos de caudal. Son automáticas en cuanto al bombeo de la cantidad de agua que pasa al filtro debido a que cuenta con un sistema de control de nivel de la máxima o mínima cantidad de agua que entra al sistema.

5.4. FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

El Filtro Anaerobio posee dos etapas que son conectadas por medio de un sistema de tuberías. Este sistema cuenta en la parte inferior con tanques de sedimentación en los cuales se depositan las partículas que no fueron sedimentadas durante el proceso de sedimentación primaria y en el fondo de cada módulo se localiza una tubería que al igual que en los sedimentadores primarios es operada por medio de válvulas para la recolección de los lodos y su envío al lecho de secado. En la parte superior de cada unidad se cuenta con un

recubrimiento con piedra de distintos tamaños lo que permite recoger las partículas más pequeñas que no han podido ser sedimentadas (Ver Anexo).

El agua primero es bombeada al módulo central o filtro primario en el que se ha depositado piedra de primera calidad y libre de partículas, con un tamaño promedio de 50 mm. Luego de aquí el agua pasa hacia las unidades secundarias las cuales cuentan con piedra de primera calidad con un tamaño promedio de 100 mm.

Por último, el efluente es colectado por medio de una tubería ubicada en el perímetro del filtro y es expulsada del sistema, y enviada al río que se ubica detrás de las instalaciones, sin embargo, el agua pasa antes por al menos tres cajas de registro en las cuales se puede controlar la calidad de la misma.

5.5. LECHO DE SECADO DE LODOS

Este módulo cuenta con un área aproximada de 150 m² y con un desnivel de aproximadamente 0.5% con respecto al área de construcción del mismo. Tiene una serie de tuberías en el fondo para evacuar el agua que es expulsada por los lodos durante su secado. Estas tuberías están cubiertas por al menos tres capas de piedra, la primera de la denominada bruta que tiene una altura aproximada de 25 cm, la segunda capa (30 cm) de piedra tercera y la última capa de 30 cm de piedra cuarta, todas de primera calidad y limpia (Ver Anexo).

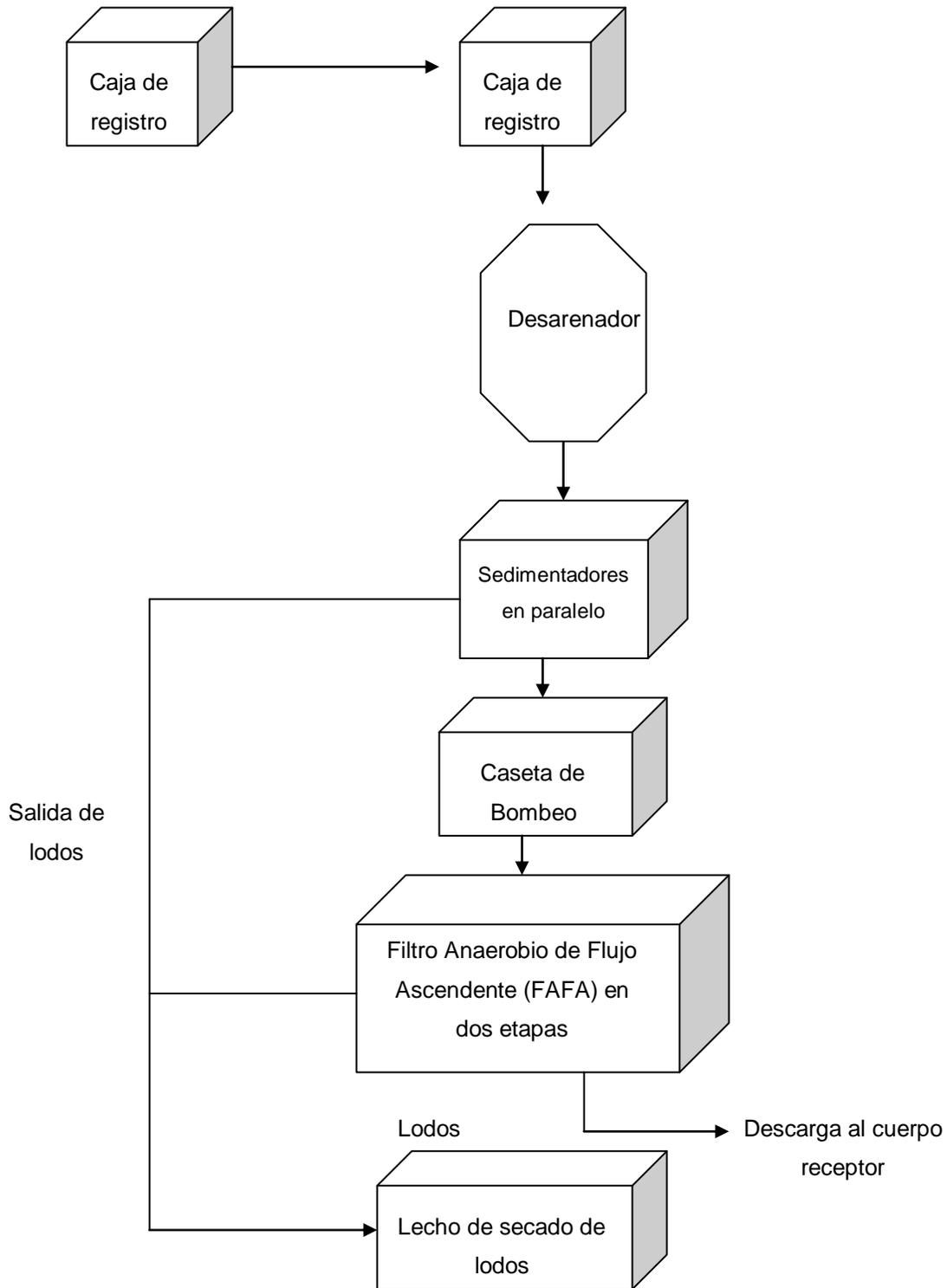


Figura 5. Esquema del flujo de agua residual en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí

6. METODOLOGÍA

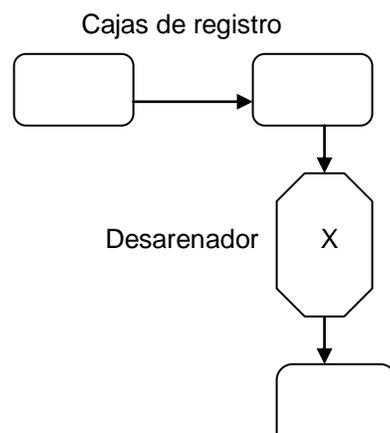
Las actividades se llevaron a cabo entre los meses de mayo, junio y julio del 2002. Algunas de las pruebas se realizaron *in situ* y otras tanto en el laboratorio de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica como en el laboratorio certificado LAMBDA. Para esto se realizó diferentes campañas de muestreo, cuyos procedimientos se detallan a continuación.

6.1. DETERMINACIÓN DE CAUDAL

El caudal se determinó a la entrada del agua en el sistema de tratamiento, mediante el uso de una caja de registro la cual tiene las siguientes dimensiones: 81cm de ancho, 84 cm de largo y 108 cm de ancho, con un volumen total de 0.735 m³, registrando así el tiempo en que se llenaba el volumen de la misma.

6.2. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS REALIZADOS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA URBANIZACIÓN COCORI DE CARTAGO

Como puntos de muestreo se consideraron el influente (entrada del agua al sistema) de los sedimentadores, y el influente (salida de los sedimentadores) y efluente del filtro anaerobio (salida del sistema). Las muestras se preservaron en hielo durante el transporte a los respectivos laboratorios (con una temperatura aproximada de 4°C).



34

X: Puntos de Muestreo

Figura 6. Diagrama de puntos de muestro en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí.

Para los análisis de DBO, DQO, Grasas y Aceites, ST, y Coliformes Fecales, se realizaron muestreos compuestos de cuatro horas en el influente del sistema, así como en el influente y efluente del filtro anaerobio, durante todas las campañas realizadas, donde se tomaron entre 250 ml y 350 ml de muestra proporcional al pico de caudal, cada media hora durante el período de muestreo, y de cada una se determinó el pH y la temperatura (°C).

Los análisis correspondientes a DBO, DQO, Grasas y Aceites, ST, Sólidos

Sedimentables y Coliformes Fecales, se realizaron en el Laboratorio Certificado LAMBDA.

Análisis de pH, Sólidos Sedimentables (SSed), color, olor y turbiedades realizaron diariamente, y los análisis correspondientes a Sólidos totales (ST), AGV's y Alcalinidad al menos dos veces, a partir de muestras simples obtenidas en los puntos mencionados anteriormente.

Los análisis físicos y químicos fueron realizados según los métodos estándares para aguas y aguas residuales de la APHA-AWWA-WEF. La mayoría de las muestras fueron trasladadas al laboratorio y analizadas inmediatamente después del muestreo.

7. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la Evaluación del Sistema de Tratamiento de la Planta de Tratamiento Cocorí, dicho sistema compuesto por dos Sedimentadores Primarios con un funcionamiento en paralelo y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente en dos etapas (FAFA). Estos se obtuvieron a partir de muestras compuesta tomadas en el influente del sistema (entrada del sistema), en el influente del filtro (salida de los sedimentadores) y en el efluente del filtro (salida del sistema).

7.1. DETERMINACIÓN DE CAUDAL

En el cuadro 3, se muestra las variaciones en el caudal horario y diario en metros cúbicos por hora, del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Urbanización Cocorí.

Cuadro 3. Caudales horarios y diarios de la Planta de Tratamiento Cocorí.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
7:30	619	543	585	568	602
8:30	702	694	669	710	719
9:30	627	635	610	627	644
10:30	1287	1363	1329	1338	1354
11:30	1722	1797	1755	1781	1772
12:30	1697	1731	1772	1747	1739
1:30	1522	1430	1597	1455	1463
2:30	1104	1045	1170	1137	1162
3:30	527	543	560	552	602
4:30	451	460	485	502	568
Promedio	1025	1024	1053	1042	1063

En la figura 7 se observa las curvas de caudal diario y horario en metros cúbicos

por hora, obtenido a lo largo de una semana en la Planta de Tratamiento Cocorí. Por otro lado, en la figura 8 se observa el caudal promedio en metros cúbicos por día obtenido a lo largo de una semana, con lo cual se muestra la variación que este parámetro tiene a lo largo de un periodo específico.

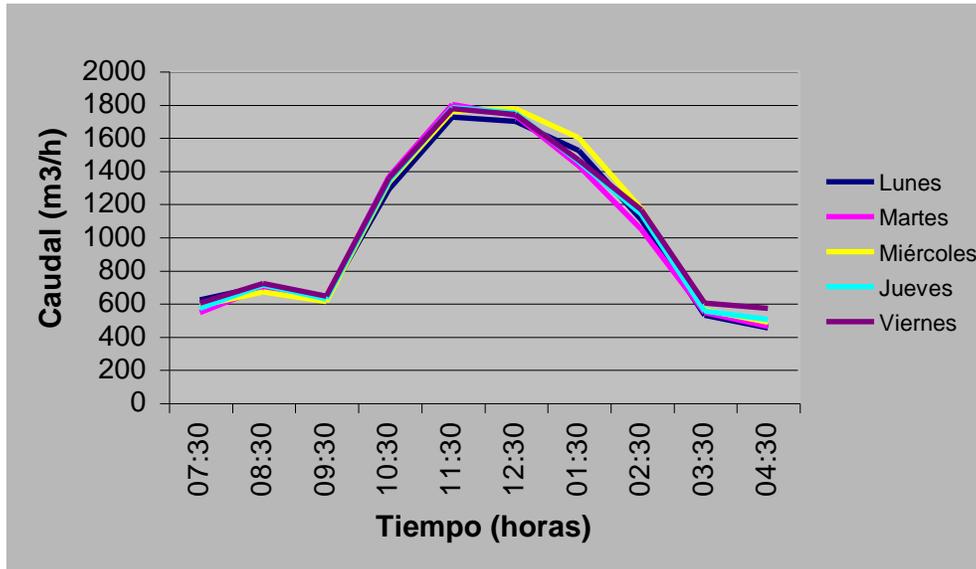


Figura 7. Curvas del caudal diario y horario en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí.

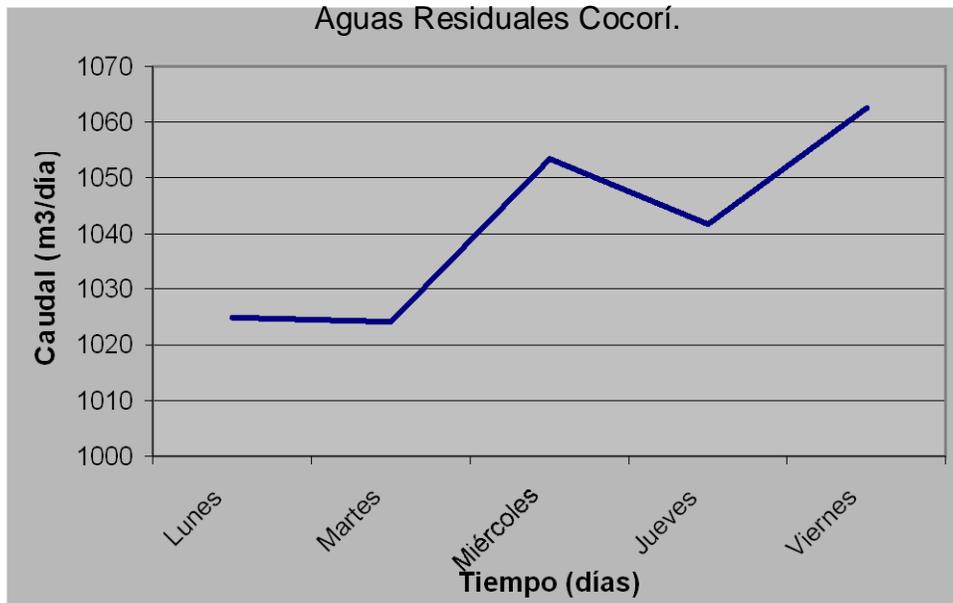


Figura 8. Curva del caudal promedio en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí

En el cuadro 4, se observa la variación observada en el tiempo de retención del agua en el FAFA ya que esto depende principalmente del caudal que ingresa al mismo.

Cuadro 4. Tiempo de retención en el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, a lo largo de una semana.

Día	Tr (h)
Lunes	3.79
Martes	3.78
Miércoles	3.90
Jueves	3.85
Viernes	3.93

Fuente: datos de campo

7.2. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

En este apartado se presenta los datos obtenidos durante el período de evaluación de la Planta de Tratamiento. Dentro de estos se incluye pH, temperatura, Sólidos sedimentables (SSed), Sólidos totales (ST), Turbiedad, así como Grasas y Aceites (G y A), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Cuadro 5. Temperatura y pH en el influente al sistema y en el influente y efluente del filtro.

Día	Punto	pH	Temperatura
J 27/06/2002	Influente	6.40	20
	Influente al filtro	6.08	21

	Efluente del filtro	6.19	21
V 28/06/2002	Influente	6.55	21
	Influente al filtro	6.19	20
	Efluente del filtro	6.31	20
L 01/07/2002	Influente	6.50	21
	Influente al filtro	6.21	21
	Efluente del filtro	6.36	21
K 02/07/2002	Influente	6.67	20
	Influente al filtro	6.31	20
	Efluente del filtro	6.43	20
M 03/07/2002	Influente	6.61	21
	Influente al filtro	6.25	21
	Efluente del filtro	6.31	21
J 04/07/2002	Influente	6.53	21
	Influente al filtro	6.18	21
	Efluente del filtro	6.29	21
V 05/07/2002	Influente	6.55	21
	Influente al filtro	6.21	21
	Efluente del filtro	6.25	21
L 08/07/2002	Influente	6.77	20
	Influente al filtro	6.50	20
	Efluente del filtro	6.37	20
K 09/07/2002	Influente	6.47	21
	Influente al filtro	6.55	21
	Efluente del filtro	6.30	20
M 10/07/2002	Influente	6.50	20
	Influente al filtro	6.20	20
	Efluente del filtro	6.33	20
J 11/07/2002	Influente	6.65	21
	Influente al filtro	6.31	20
	Efluente del filtro	6.46	21
V 12/07/2002	Influente	6.57	20
	Influente al filtro	6.34	20
	Efluente del filtro	6.43	20
L 15/07/2002	Influente	6.53	21
	Influente al filtro	6.37	21
	Efluente del filtro	6.49	20
K 16/07/2002	Influente	6.52	21
	Influente al filtro	6.41	21
	Efluente del filtro	6.49	21
M 17/07/2002	Influente	6.70	21
	Influente al filtro	6.42	21
	Efluente del filtro	6.51	20
J 18/07/2002	Influente	6.75	21
	Influente al filtro	6.60	21
	Efluente del filtro	6.97	21
V 19/ 07/2002	Influente	6.50	21
	Influente al filtro	6.65	21

	Efluente del filtro	6.98	21
L 22/07/2002	Influente	6.72	21
	Influente al filtro	6.63	21
	Efluente del filtro	6.69	21
K 23/07/2002	Influente	6.53	20
	Influente al filtro	6.64	20
	Efluente del filtro	6.69	20
M 24/07/2002	Influente	6.71	21
	Influente al filtro	6.58	21
	Efluente del filtro	6.68	21
J 25/07/2002	Influente	6.75	21
	Influente al filtro	6.57	21
	Efluente del filtro	6.62	20
V 26/07/2002	Influente	6.73	21
	Influente al filtro	6.54	21
	Efluente del filtro	6.64	21

Fuente: datos de campo

Influente = entrada al sistema

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del filtro = salida del sistema

La figura 9, muestra el perfil de temperatura que se presenta en el sistema de tratamiento evaluado diariamente, en el influente del sistema y en el influente y efluente del filtro anaerobio.

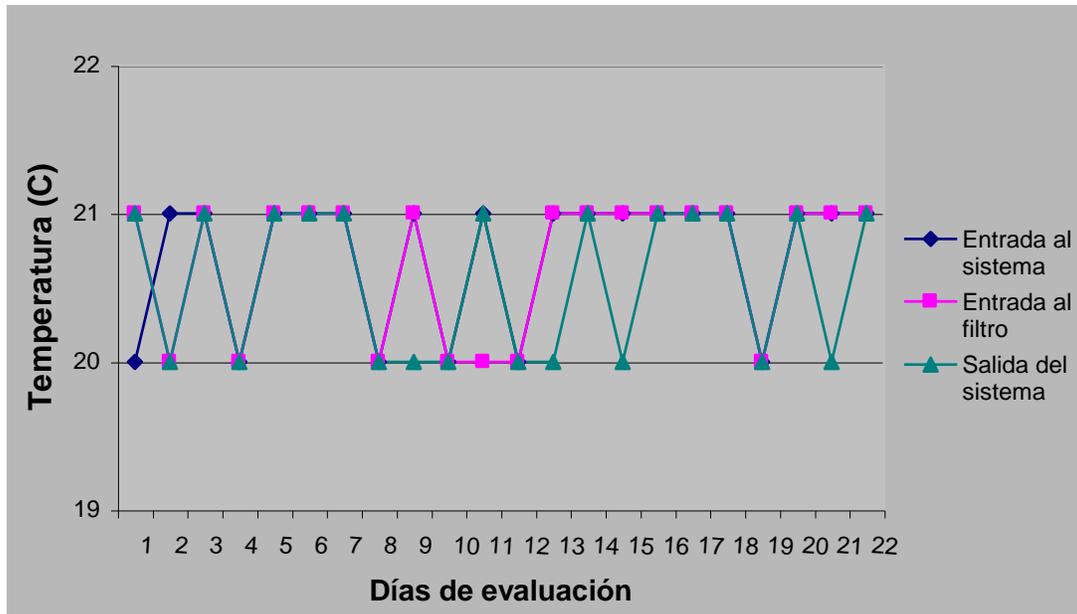


Figura 9. Perfil de temperatura en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, en diferentes fechas de muestreo

La figura 10 muestra las variaciones de temperatura obtenidas en el sistema evaluado, tanto en la entrada del influente al mismo como en la entrada y salida del agua residual al FAFA.

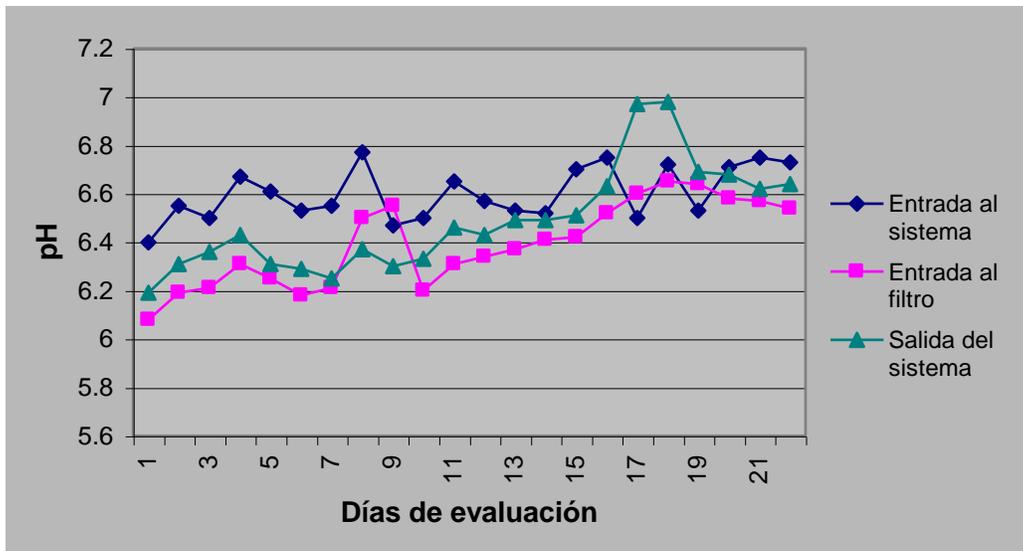


Figura 10. Perfil de pH en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, en diferentes fechas de muestreo

De acuerdo al cuadro 6, la eficiencia del sistema para disminuir la turbiedad en el agua varía de acuerdo al punto de muestreo. Así, para los sedimentadores se obtiene una eficiencia del 18% y para el FAFA se obtiene una eficiencia del 14%, debido a lo cual se obtiene una eficiencia promedio del 16%.

Cuadro 6. Turbiedad del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí.

Fecha	Influente al sistema (FTU)	Influente al filtro (FTU)	Efluente del filtro (FTU)
27/06/02	648	454	432
28/06/02	705	636	514
01/07/02	760	650	535
02/07/02	705	504	482
03/07/02	720	506	490
04/07/02	820	710	615
05/07/02	705	468	403
08/07/02	705	559	437
09/07/02	871	725	637
10/07/02	800	689	569
11/07/02	765	657	536
12/07/02	778	659	648
15/07/02	684	564	485
16/07/02	750	687	575
17/07/02	830	716	628
18/07/02	759	638	525
19/07/02	716	595	478
22/07/02	768	629	523
23/07/02	794	675	556
24/07/02	647	551	463
25/07/02	768	634	529
26/07/02	798	645	568

Fuente: datos de campo

Influente al sistema = entrada al sistema

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del filtro = salida del sistema

En el cuadro 7 y la figura 11, se observa la variación en la cantidad de Sólidos Sedimentables (SSed) obtenidos en ml/L, durante el período de evaluación. Se puede anotar que el porcentaje de eficiencia es alto, así, para los sedimentadores se obtiene una eficiencia promedio del 85% y para el filtro una eficiencia promedio del 92%.

Cuadro 7. Sólidos Sedimentables en el Sistema de Tratamiento de Aguas

Residuales Cocorí

Fecha	Influyente al sistema (ml/L)	Influyente al filtro (ml/L)	Efluente del filtro (ml/L)
27/06/02	2.0	0.5	0.0
28/06/02	2.5	0.1	0.0
01/07/02	5.0	0.3	0.0
02/07/02	7.0	1.0	0.0
03/07/02	10.0	1.1	0.0
04/07/02	12.0	1.7	0.0
05/07/02	14.0	2.2	0.0
08/07/02	13.0	2.0	0.0
09/07/02	12.0	1.5	0.0
10/07/02	13.0	1.9	0.0
11/07/02	15.0	2.3	0.1
12/07/02	13.0	1.8	0.1
15/07/02	14.0	2.1	0.1
16/07/02	17.0	2.8	0.4
17/07/02	15.0	2.6	0.3
18/07/02	14.0	2.0	0.1
19/07/02	18.0	3.1	0.1
22/07/02	15.0	2.5	0.3
23/07/02	13.0	2.3	0.4
24/07/02	14.0	2.5	0.1
25/07/02	15.0	2.8	0.4
26/07/02	16.0	1.0	0.6

Fuente: datos de campo

Influyente al sistema = entrada al sistema

Influyente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del filtro = salida del sistema

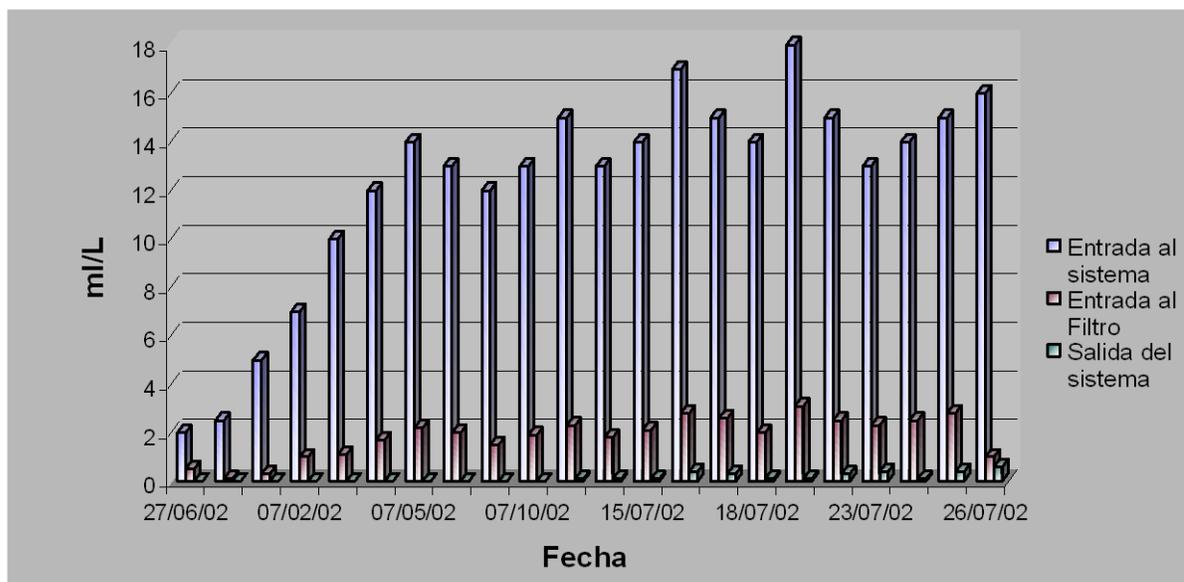


Figura 11. Variación de los Sólidos Sedimentables (SSed) en diferentes fechas de evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí.

En el cuadro 8, se observa la variación en la cantidad de Sólidos Totales (ST) en mg/L, durante el período de evaluación.

Cuadro 8. Sólidos Totales en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí.

Fecha	Influyente al sistema (mg/L)	Influyente al filtro (mg/L)	Efluente del filtro (mg/L)
27/06/02	140	40	30
28/06/02	600	800	600
01/07/02	800	500	300
03/07/02	100	80	50
05/07/02	800	600	500
08/07/02	800	600	200
10/07/02	120	100	60
12/07/02	110	80	50
16/07/02	900	600	300
18/07/02	600	560	520
19/07/02	-	480	340
22/07/02	-	520	350
23/07/02	-	610	510

En el cuadro 9, se muestra las variaciones en la DBO, DQO, Grasas y Aceites,

Fuente: datos de campo

Influyente al sistema = entrada al sistema

Influyente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del filtro = salida del sistema

en los tres puntos de muestreo. Estos parámetros determinan la carga orgánica que entra al sistema y su remoción, por lo que se puede tener un criterio más amplio para evaluar tanto el cumplimiento de la normativa existente en nuestro país, así como la eficiencia del sistema.

Cuadro 9. Grasas y Aceites (G y A), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), del influente al sistema y del influente y efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Fecha	Influente al sistema			Influente al filtro			Efluente del filtro		
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)
18/07/02	260	590	68	240	580	48	180	410	32
19/07/02	280	540	60	240	430	44	180	310	34
22/07/02	255	520	42	270	640	38	130	240	20
23/07/02	230	360	52	250	460	48	130	220	22
24/07/02	280	600	58	255	470	38	175	300	20

Análisis realizados en el Laboratorio certificado LAMBDA

Influente al sistema = entrada al sistema

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del filtro = salida del sistema

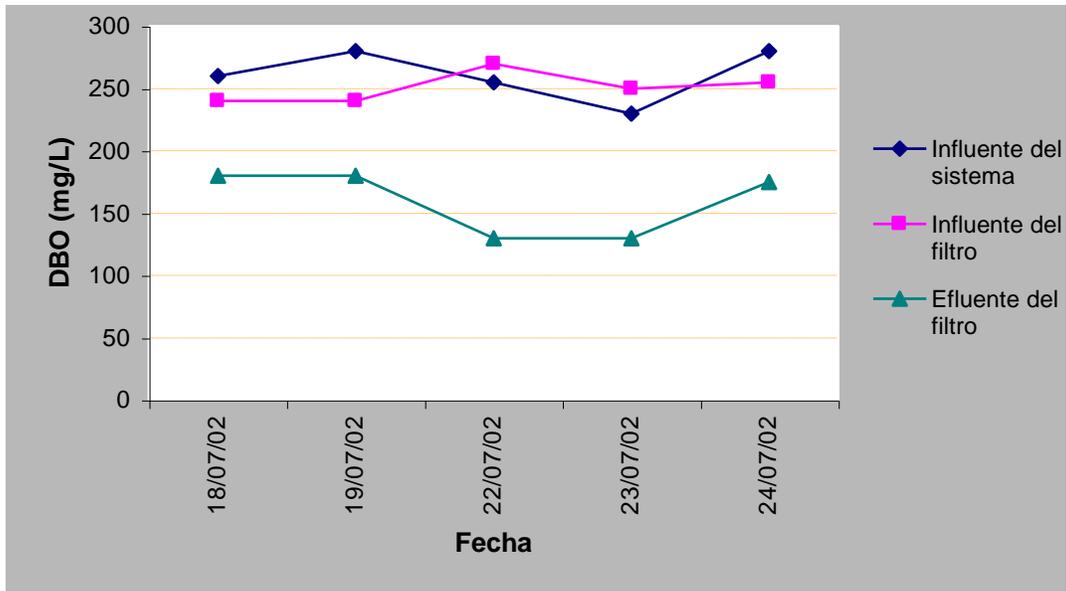


Figura 12. Comportamiento de la DBO en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio

Influyente al sistema = entrada al sistema
 Influyente al filtro = salida de los sedimentadores
 Efluente del filtro = salida del sistema

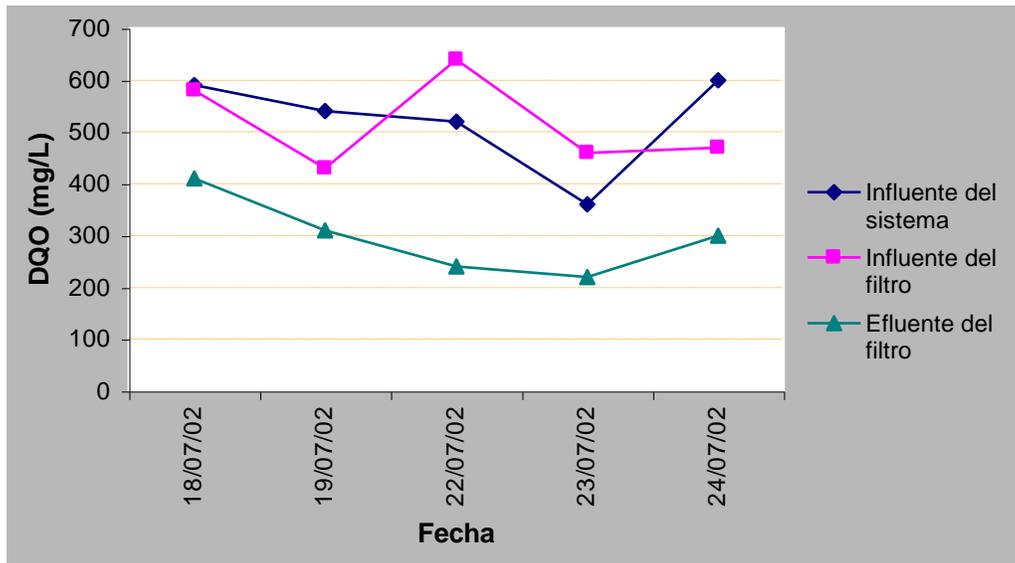


Figura 13. Comportamiento de la DQO en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio

Influyente al sistema = entrada al sistema
 Influyente al filtro = salida de los sedimentadores
 Efluente del sistema = salida del sistema

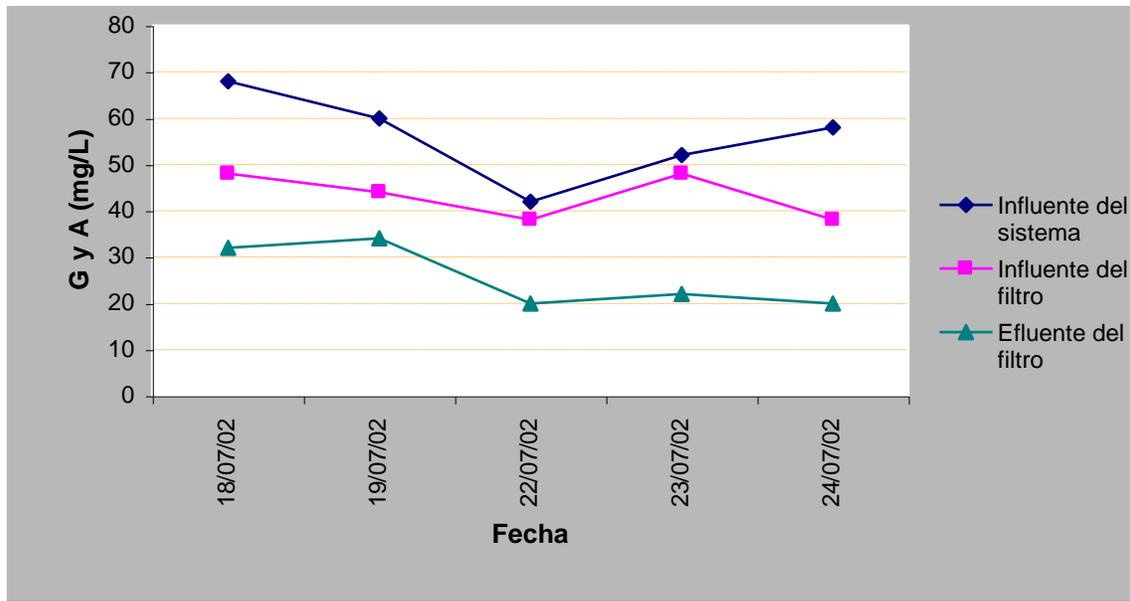


Figura 14. Comportamiento de las Grasas y Aceites en el influente al sistema y el influente y efluente del Filtro Anaerobio

Influente del sistema = entrada al sistema

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del sistema = salida del sistema

Cuadro 10. Carga Orgánica (CO) y Carga Orgánica Volumétrica (COV) del influente y efluente del Filtro Anaerobio en términos de DQO y DBO.

Fecha	Influente al filtro		Efluente del filtro	
	CO (Kg DQO/día)	COV (Kg DQO/m ³ /día)	CO (Kg DBO/día)	COV (Kg DBO/m ³ /día)
18/07/02	604	2.23	188	0.69
19/07/02	457	1.69	191	0.70
22/07/02	656	2.42	133	0.49
23/07/02	471	1.74	133	0.49
24/07/02	495	1.83	184	0.68

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

En el cuadro 11, se observa la eficiencia de todo el sistema, de los sedimentadores y del filtro anaerobio de flujo ascendente, en términos de Grasas y Aceites, DBO y DQO, ST y SSed.

Cuadro 11. Eficiencia del sistema de tratamiento en términos de DBO, DQO, ST, SSed y Grasas y Aceites.

Remoción de:	Porcentaje de eficiencia														
	Sistema total					Influyente al filtro					Influyente del filtro				
	DBO	DQO	GyA	ST	SSed	DBO	DQO	GyA	ST	SSed	DBO	DQO	GyA	ST	SSed
18/07/02	31	31	53	13	99	8	1.7	29	7	86	25	29	33	7	95
19/07/02	36	43	43	-	99	25	28	23	-	83	25	28	23	29	97
22/07/02	49	54	52	-	98	6	23	10	-	83	52	63	47	33	88
23/07/02	43	39	58	-	97	9	28	58	-	82	48	52	54	16	83
24/07/02	38	50	66	-	99	9	22	34	-	82	31	36	47	-	96
Promedio	39	36	54	13	98	11	21	31	7	83	36	42	41	21	92

Influyente al filtro = salida de sedimentadores

Efluente del sistema = salida del sistema

En el cuadro 12, se observa los Ácidos Grasos Volátiles (AGV's) y la Alcalinidad del efluente Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, y en la figura 15 se muestra la relación de los AGV's con el pH observado en la unidad de tratamiento.

Cuadro 12. Ácidos grasos volátiles y alcalinidad del efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Efluente del Filtro Anaerobio			
Fecha	Hora	AGV' (meq/L)	Alcalinidad (mg/L)*
27/06/02	10:30 a.m.	6.4	250
08/07/02	10:30 a.m.	8.0	360
10/07/02	11:00 a.m.	5.6	200
18/07/02	10:30 a.m.	11.0	430
23/07/02	10:30 a.m.	5.6	560
24/07/02	10:30 a.m.	4.8	160

Nota: como carbonato de calcio

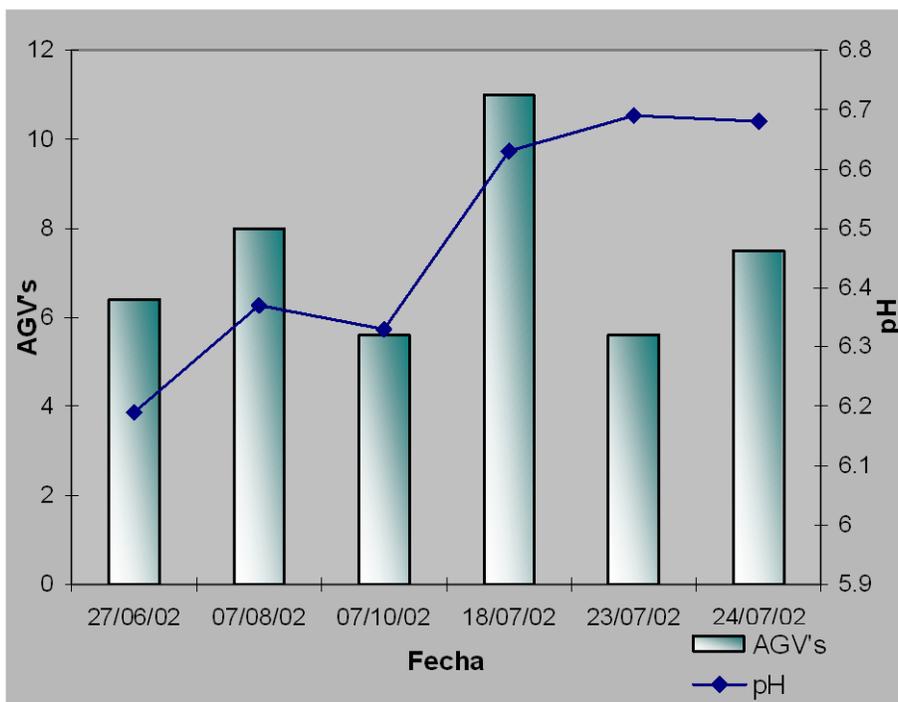


Figura 15. Relación entre los Ácidos Grasos Volátiles (meq/L) y el pH del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

En el cuadro 13, se muestra la cantidad de coliformes fecales presentes a la entrada y salida del filtro anaerobio.

Cuadro 13. Valores de coliformes fecales en el influente y efluente del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Fecha	Influente al filtro (NMP/100 ml)	Efluente del filtro (NMP/100 ml)
18/07/02	$5.5 \cdot 10^5$	$6.5 \cdot 10^5$
19/07/02	$6.6 \cdot 10^5$	$4.5 \cdot 10^5$
22/07/02	$2.5 \cdot 10^5$	$2.0 \cdot 10^5$
23/07/02	$5.0 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10^4$

Influente al filtro = salida de los sedimentadores

Efluente del sistema = salida del sistema

7.3. DETERMINACIÓN DEL OLOR Y COLOR EN LAS DIFERENTES UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Durante el inicio de la evaluación se notó en la entrada del agua al sistema un olor fuerte, sin embargo, este disminuyó dependiendo de los días en que se incrementó el agua de lluvia. En cuanto al color del agua se presentaron variaciones entre un café oscuro y claro que dependió del factor mencionado anteriormente.

El agua varió su olor y color conforme avanzaba en el sistema, por lo que, el olor aumentó su intensidad y el color se tornó grisáceo.

8. DISCUSIÓN

8.1. EFECTO DEL CAUDAL EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Como se observa en la figura 7 el caudal es muy uniforme durante la semana y se puede situar los picos de caudal respectivos desde las 10:30 a.m. hasta las 2:30 a.m. aproximadamente. El caudal máximo es de 1797.4 m³/h y el mínimo es de 451.4 m³/h, por otro lado, el caudal promedio máximo es de 1062.5 m³/día y el mínimo de 1024 m³/día.

Cabe recalcar que la medición del caudal se realizó en una época crítica debido a las precipitaciones, que alteran el flujo de agua que llega hasta el sistema de tratamiento.

A pesar de obtener flujos de agua residual muy altos en ciertas horas del día el sistema trabaja con su capacidad de caudal máxima, ya que al realizar un análisis estadístico se obtiene que no hay diferencias significativas entre el caudal máximo reportado en la hoja de cálculo y el caudal promedio obtenido durante la evaluación del sistema.

Las variaciones en el caudal hacen que aumente o disminuya el Tr del agua en el sistema, lo que a su vez influye en la capacidad de los microorganismos que se encuentran en el filtro anaerobio de remover la materia orgánica presente.

8.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

8.2.1. *Temperatura y Potencial de hidrógeno (pH)*

Como se observa en el cuadro 5 y en la figura 10, no hay una variación significativa en el pH ya que este se mantuvo entre 6.08 y 6.98, condición ideal para el funcionamiento del filtro pues se disminuye la probabilidad de que las bacterias que actúan en la remoción de la materia orgánica puedan sufrir alguna clase de toxicidad inhibiendo así la fase metanogénica del proceso.

Sin embargo, un descenso en el pH provoca el aumento en los malos olores, debido a que a un pH bajo el sulfuro de hidrógeno no permanece disuelto como ácido sulfúrico y se libera en forma de gas, el cual posee un olor desagradable.

Por otra parte, es importante mencionar el cumplimiento de la norma establecida y que los valores de pH al ser casi neutros no afectan en gran medida la ecología del cuerpo receptor.

La **temperatura** es un factor importante debido a que controla el equilibrio existente en la población microbiana del filtro e influye en las actividades metabólicas de la misma. Se puede decir que conforme aumenta también aumenta el metabolismo en los microorganismos, por que a su vez se favorecen los procesos de descomposición de la materia orgánica presente.

Las bacterias anaerobias son mesófilas, es decir, se desarrollan a temperaturas entre los 20 y 40 °C. Como se observa en el cuadro 5 y la figura 8, la variación de temperatura es mínima ya que ésta se encuentra entre los 20 y 21 °C, por lo

que la actividad microbiana puede mantener una buena eficiencia y además se cumple con la norma establecida.

Según Gloyna (1973), en estanques anaerobios a temperaturas de 10°C no se presenta reducción alguna de la DBO, mientras que la reducción llega hasta 40-60% a 20°C y pasan del 80% a temperaturas de 25°C o mayores.

8.2.2. Turbiedad

La turbiedad aunque no es normada, para fines prácticos es importante debido a que con él se puede evaluar la eficiencia del sistema indicando la calidad de las aguas vertidas en función de la remoción de materia orgánica soluble y coloidal, principalmente. Por otro lado, su control permite que no se alteren los procesos naturales en el cuerpo receptor, ya que un cuerpo de agua con alta turbiedad impide el paso natural de luz en el cuerpo receptor.

Como se observa en el cuadro 6, en el punto de muestreo inicial, la turbiedad es bastante alta alcanzando en ocasiones los 871 FTU. Estos valores disminuyen conforme avanza el tratamiento, sin embargo, su reducción no es muy grande al final del proceso ya que el valor mínimo alcanzado es de 403 FTU, lo que hace que el porcentaje de eficiencia en este parámetro sea bastante bajo (16%). Esto puede ser atribuido a la gran cantidad de sólidos (cuadro 8) presentes en el agua que si bien disminuyen a lo largo del proceso no lo hacen en la cantidad

suficiente para disminuir la turbiedad del agua.

8.2.3. Olor

El olor en este sistema se caracteriza por ser fuerte y aunque disminuye conforme el agua avanza en el tratamiento no se da en gran proporción. La ausencia de oxígeno provoca el aumento de los olores, lo cual es inevitable en un sistema anaerobio, esto se debe a uno de los gases producidos por la digestión anaerobia, el Sulfuro de hidrógeno (H_2S), cuya formación se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de los microorganismos anaerobios, pero se ve inhibido en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Razón por la cual se espera que aumente el olor conforme aumenta la carga orgánica que ingresa al sistema, ya que el oxígeno presente se consume más rápidamente. Debido a esto se puede decir que el olor es inevitable en un sistema anaerobio, pero se pueden tomar medidas para controlarlo.

8.2.4. Color

El color en el agua residual es de gran importancia ya que determina en gran proporción la condición del agua. Según Metcalf & Eddy (1996), un agua residual reciente suele ser gris, sin embargo, conforme la materia orgánica es reducida por los microorganismos, el oxígeno disuelto se reduce y el color cambia a negro, por lo que se dice que en esta condición el agua residual es séptica.

Como se observa en la sección 7.3. el color cambia a grisáceo conforme se avanza en el tratamiento. En todos los muestreos realizados para el control de este parámetro se notó la misma coloración, lo que indica que el filtro es bastante estable para dicho factor.

8.2.5. Sólidos Sedimentables (SSed)

En el cuadro 7 se observa los SSed obtenidos en los diferentes muestreos realizados a lo largo de la evaluación. Se nota que aunque la cantidad de estos sólidos en el influente del sistema (entrada a los sedimentadores) es alta, la eficiencia de los sedimentadores llega a alcanzar un porcentaje del 85%.

La cantidad de sólidos en el sistema, se remueve más al pasar a la siguiente unidad de tratamiento (filtro anaerobio) donde alcanza niveles de sedimentación altos reportándose un porcentaje del 92%.

Debido a que el valor máximo de estos sólidos en el agua del efluente es de 0.6 ml/L, cumple con la normativa nacional ya que el límite máximo permisible es de 1 ml/L.

8.2.6. Sólidos totales

Es toda aquella materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos. (Metcalf & Eddy, 1996)

El sistema presentó una baja eficiencia en la remoción de sólidos totales con un porcentaje promedio de 40%. Se puede afirmar que los sólidos totales presentes en el efluente corresponden a los lodos que no logran su sedimentación en el filtro anaerobio de flujo ascendente estos puede deberse a que en momentos picos el sistema recibe el doble de la carga de diseño.

Debido a la gran cantidad de sólidos totales presentes en el efluente del sistema (cuadro 8), este parámetro evaluado no cumple con la normativa vigente, en la que se establece que los sólidos totales no puede superara 50 mg/L, alcanzando como máximo 600 mg/L. (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, 1997)

8.2.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro que mide la contaminación de materia orgánica e inorgánica en una muestra de agua, que es susceptible a oxidarse químicamente

mediante la presencia de un agente oxidante fuerte.

De acuerdo con el cuadro 9 y la figura 13, si bien existe una remoción de materia en el filtro anaerobio, la eficiencia promedio del sistema para la remoción de la DQO es de 54% como se detalla en el cuadro 11. Esta baja eficiencia puede deberse a la carga hidráulica que entra al sistema (entre 451 m³ y 1797 m³).

En este caso se determinó que aunque el porcentaje de eficiencia de DQO es bajo se cumple con la normativa establecida en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales en el que establece un límite máximo de 400 mg/L para el vertido de efluentes de aguas residuales de tipo ordinario a cauce receptor.

8.2.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en el agua residual.

El sistema presenta un porcentaje de eficiencia promedio de DBO del 39%, que menor al obtenido de la DQO. De acuerdo con el cuadro 9 y la figura 12, a pesar de que hay una reducción en la DBO del efluente no se cumple con la normativa nacional, ya que se establece que para aguas residuales de tipo ordinario que se viertan en un cuerpo receptor no podrán sobrepasar de 50 mg/L.

Se observa en el cuadro 9, que el valor más alto de DBO en el efluente se obtienen tanto el jueves 18 de julio como el viernes 19 de julio días en los cuales se alcanza los caudales máximos promedio, con lo cual se comprueba que las variaciones en el caudal afectan la eficiencia del filtro anaerobio, principalmente como se mencionó antes porque se está trabajando con una carga hidráulica mayor a la del diseño.

8.2.9. Grasas y Aceites

En el cuadro 9 y la figura 14, se observa el comportamiento de las grasas y aceites en el sistema de tratamiento, que a pesar de reducirse en una buena proporción no cumple con la legislación para el vertido. El porcentaje de eficiencia promedio para la remoción de grasas y aceites y correspondió a un 54%, valor que es bajo, cuadro 11. Esta eficiencia se considera baja dado que el sistema no recibe un influente con altas concentraciones de grasas (68 mg/L).

8.2.10. Carga Orgánica (CO) y Carga orgánica volumétrica (COV)

Como se muestra en el cuadro 10, las cargas orgánicas volumétricas no superan los 2.42 Kg DQO/día y 1.02 Kg DBO/día, lo que hace pensar que la baja eficiencia no se debe a una alta Carga Orgánica, sino por el contrario, a una alta carga hidráulica en el sistema de tratamiento, ya que como se ha mencionado

anteriormente es el doble del caudal máximo de diseño.

Debe considerarse que a mayor carga orgánica mayor eficiencia, y en este caso el influente es muy diluído por lo que se dice que se tiene un agua residual débil. Como menciona Wasser (1995), la capacidad orgánica máxima en un reactor anaerobio está entre los 10 y 50 Kg DQO/m³ reactor/d, que como se observa en el cuadro 10 es muy inferior a dicho valor, pues su cifra máxima es de 2.42 Kg DQO/m³ reactor/d.

En reactores con tiempos de retención celular bajos, como se sospecha en este caso debido a que el filtro anaerobio en horas pico de caudal trabaja con el doble de la carga hidráulica de diseño, no es recomendable aplicar tiempos de retención hidráulicos inferiores de 2 – 10 días (Wasser, 1995).

8.2.11. Ácidos Grasos Volátiles y Alcalinidad

Los AGV's son productos intermedios de la descomposición anaerobia y son tóxicos para los microorganismos metanogénicos cuando estos sobrepasan los 20 meq/L. Es decir, no deben sobrepasar los 8 meq/L en reactores y filtros anaerobios pero pueden llegar incluso a valores de 12 meq/L sin afectar en gran proporción a la biota anteriormente mencionada.

En el cuadro 13, se observa que los AGV's a la salida del filtro se mantienen por

debajo de 12 meq/L. Sin embargo, en uno de los análisis se determinó un aumento considerable ya que llega a 11 meq/L, medida que se considera aceptable para este sistema pues la toxicidad de los AGV's está íntimamente ligada al pH, que en este caso es casi neutro.

Si el pH disminuye, aumenta la cantidad de AGV's que se encuentran en la forma no ionizada (HA), es decir en su forma tóxica. De acuerdo con Wasser, (1995), a un pH de 5, los AGV's están disociados en un 50% aproximadamente, lo cual provoca inhibición de la actividad metanogénica. Lo que ocurre entonces es que un descenso en el pH disminuye la metanogénesis, pero no se detiene la acidogénesis, la cual puede continuar hasta pH de 4.2, esto provoca que se detenga la producción de metano y no se eliminen los AGV's que se están produciendo, los cuales se van acumulando y disminuye aún más el pH, lo que podría ocasionar que el sistema entre en un proceso en el cual las bacterias metanogénicas no solo se inhiban, sino que mueran ocurriendo un daño irreversible en el filtro.

Al tomar como referencia la figura 15, se observa que el pH en este caso contribuye a que los AGV's no se disocien en proporciones que puedan afectar la Metanogénesis. Sin embargo, los AGV's, disminuyen el pH a menos que la alcalinidad de bicarbonatos sea suficiente para neutralizar dichos ácidos. El bicarbonato se forma a partir de CO_2 , que es soluble en el agua, cuando reacciona con los iones hidroxilo formando iones bicarbonato (HCO_3). Es importante que haya suficiente alcalinidad en el sistema para obtener una buena

eficiencia del proceso biológico.

Como se observa en el cuadro 12, la alcalinidad es baja en la salida o efluente del sistema, ya que varía entre los 160 y 560 mg/L. Esto puede atribuirse a que la alcalinidad se consume en el filtro para amortiguar los cambios de pH que se dan, por otro lado, amortigua el aumento de los AGV's en el sistema, haciendo que este se mantenga estable principalmente en lo que se refiere a la microbiota presente en la unidad de tratamiento anaerobio.

8.2.12. Coliformes fecales

De acuerdo con Madigan (1999), debido a que no es posible examinar el agua directamente en busca de organismos patógenos, para fines prácticos se utilizan microorganismos indicadores, por lo general, asociados al tracto intestinal, cuya presencia en el agua indica que ésta ha recibido una contaminación de origen intestinal.

El indicador mas ampliamente utilizado es el grupo de organismos coliformes. Este grupo incluye una gran variedad de microorganismos y en la practica son casi siempre miembros de bacterias entéricas, como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter aerogenes*.

Como se detalla en el cuadro 13, aunque se da cierta remoción de microorganismos en el filtro anaerobio, ésta no es suficiente para eliminar la mayor cantidad de organismos posible, en este caso coliformes fecales.

Las bajas remociones de bacterias coliformes son de esperarse, ya que sistemas de tratamiento con bajos tiempo de retención (3.79 y 3.93 horas) como es el caso de los FAFA no se espera buenas eficiencias de microorganismos como coliformes fecales.

9. CONCLUSIONES

- ✿ El porcentaje de eficiencia del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente es de 39% de DBO de acuerdo con la evaluación realizada, cuando se espera al menos un 75 a 85% de remoción según lo establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.
- ✿ Caudales altos producidos principalmente por precipitaciones, provocan la disminución en los tiempos de retención y en la eficiencia del sistema.
- ✿ Aunque existen caudales altos durante la época crítica, el reactor trabaja con su capacidad de Q máximo de diseño, y durante la época crítica con el doble del caudal del diseño.
- ✿ El sistema cumple con la normativa vigente en el Reglamento para el Vertido y Reuso de Aguas Residuales para los siguientes parámetros Sólidos Sedimentables, DQO, Temperatura y pH, y no cumple en cuanto a la Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Totales, Grasas y Aceites.
- ✿ La disminución en el pH genera malos olores y aumenta la inhibición de la Metanogénesis debido a la acción de los Ácidos Grasos Volátiles.

10. RECOMENDACIONES

- ✿ Realizar análisis de DQO_{ss} (Demanda Química de Oxígeno Soluble) para controlar el lavado del lodo.

- ✿ Se debe realizar un control semanal de AGV's, para evitar la inhibición metanogénica, haciendo uso de una vitácora, con el fin evitar la inhibición metanogénica y encontrar el tiempo limite para la remoción de lodos, de tal manera que no efecten la concentración de AGV's, ya que no pueden sobrepasar los 20 meq/L.

- ✿ Se recomienda realizar análisis de DBO, DQO, Grasas y Aceites y Sólidos totales cada mes para control interno del sistema de tratamiento.

- ✿ Para el desecho de lodos es necesario la construcción de un techo en el lecho de secado, debido a que las condiciones meteorológicas imperantes en la zona de Cartago hacen casi imposible que el sedimento se seque.

- ✿ Se recomienda realizar la impermeabilización del Filtro Anaerobio debido a que la infiltración causa inestabilidad en el sistema de tratamiento, la que indirectamente afecta la eficiencia del sistema.

- ✿ Realizar un perfil de lodos para determinar el tiempo para la purga

de lodos y cada cuanto se debe realizar.

- ✿ Debido a una excesiva acumulación de lodos principalmente en los sedimentadores primarios que puede ocasionar el arrastre del sedimento hasta la fosa de bombeo aumentando la DBO y DQO del influente del filtro y a la vez a la vez que las bombas puedan dañarse al succionar partículas muy grandes para las cuales no fueron diseñadas, se recomienda mantener en buen estado las válvulas que llevan este sedimento al lecho de secado.
- ✿ Se recomienda que el sedimento proveniente de los sedimentadores no se deposite en el lecho de secado de lodos, ya que los lechos son diseñados para la deposición de lodos estables.
- ✿ No se debe interrumpir el funcionamiento del Filtro Anaerobio por ningún motivo ya que esto provoca el deterioro del lodo que se deposita en el reactor y que la estabilidad del Filtro Anaerobio, en un posterior arranque se lleve a cabo en un mayor tiempo.
- ✿ Se recomienda inocular el filtro con estiércol de caballo o lodos de otros sistemas de tratamiento cuando se arranca el sistema, en caso de que éste por algún motivo deba ser detenido.

- ✿ Debido a que el lodo en reactores anaerobios tiene tiempos de maduración largos, es recomendable realizar estudios de estabilización en el filtro, ya que es posible que con el tiempo se alcance mayores porcentajes de eficiencia.

- ✿ Realizar estudios que incluyan cantidad de lodo seco y húmedo producido en el filtro, sedimentabilidad de lodos, tiempo de secado óptimo de lodos variando la altura de la pila en el lecho de secado, con el fin de establecer la estabilidad y tiempo mínimo de secado de lodos.

- ✿ Se recomienda recircular el efluente del filtro para aumentar la remoción de la materia soluble y coloidal presente en el agua tratada y a la vez aumentar la eficiencia del sistema.

- ✿ La carga hidráulica sobrepasa la carga de diseño, por lo que se recomienda la construcción de un tanque de equalización para disminuir el efecto producido por los picos de caudal con un volumen no menor a tres cuartos del caudal promedio en horas pico.

11. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, F. 2002. **Evaluación del Comportamiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Beneficiado de la COOPRONARANJO R.L.** Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

APHA, 1995. **Estándar Methods for the Examination of water and wastewater.** 20 ed. APHA-AWWA-WPCF.

Brenes, E. 2001. **Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa INLATEC S.A.** Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 97 p.

Deloya, A. 1989. **Evaluación del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.** Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Departamento de Química, ITCR. Cartago, Costa Rica. 40 p.

Gomella, C y Guerrée, H. 1977. **Tratamiento de aguas para abastecimiento público.** Traducido por Joaquín Cantó Janer. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 240 p.

Gloyna, E. 1973. **Estanques de Estabilización de Aguas Residuales**. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 192 p.

Guerra, R; González, S; Trupiano, A; Figueroa, M; Seghezzi, L y Cuevas, C. 1998. **Pérfiles de actividad metanogénica específica en un reactor UASB (reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) utilizado para el tratamiento de líquidos cloacales pre-sedimentados**. Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales, Buenos Aires, Argentina. <<http://g.unsa.edu.ar/asades/actas2000/06-25.html>> (5 mayo 2002).

Hammer, M. 1976. **Water-WasteTechnology**. New York, USA. John Wiley & Sons, Inc. 504 p.

Henry, G y Heinke, G. 1999. **Ingeniería Ambiental**. Traducido por Héctor Escalona y García. Editorial PRENTICE may HISPANOAMERICANA, S.A. México D.F, México. 778 p.

Hilleboe, H. 1986. **Manual de tratamiento de aguas negras**. Traducido por Cesar Falcón. 8 ed. Editorial LIMUSA, S.A. de C. V. México, D.F, México. 303 p.

Kiely, G. 1999. **Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.** Traducido por Jose Miguel Meza. McGraw- Hill / Interamericana de España, S.A. Madrid, España. 1331p.

Mansur, M. 1998. **Tratamiento de aguas residuales en reactores anaeróbicos de flujo ascendente en manto de lodos.** <<http://www.cepis.org.pe/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt27/hdt027.html>> (4 abril 2002).

Melcalf & Eddy. 1996. **Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización.** 3 ed. McGraw- Hill / Interamericana Editores, S.A. Mexico D.F, Mexico. 1460p.

Monge, M. 2001. **Evaluación Físico-Química y Microbiológica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Corporación BETAMATIC S.A.** Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 104 p.

Quesada, T. 2000. **Evaluación y Control de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lodos Activados en la Empresa Granja Avícola Ricura S.A.** Informe Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 99p.

Reglamento sobre Vertido y Reuso de Aguas Residuales. 1997. Decreto Ejecutivo N° 26042-S-MINAE.

Sanz, J. 2002. **Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales.** <<http://www2.cbm.uam.es/uma/metanogenesis.htm>> (5 marzo 2002)

Sosa, R; Chao, R y Del Río, J. 2002. **Aspectos bioquímicos y tecnológicos del tratamiento de residuales agrícolas con producción de biogás.** Instituto de Investigaciones Porcinas <<http://www.hgo.itesm.mx/folder/rengel/planta.htm> > (5 marzo 2002).

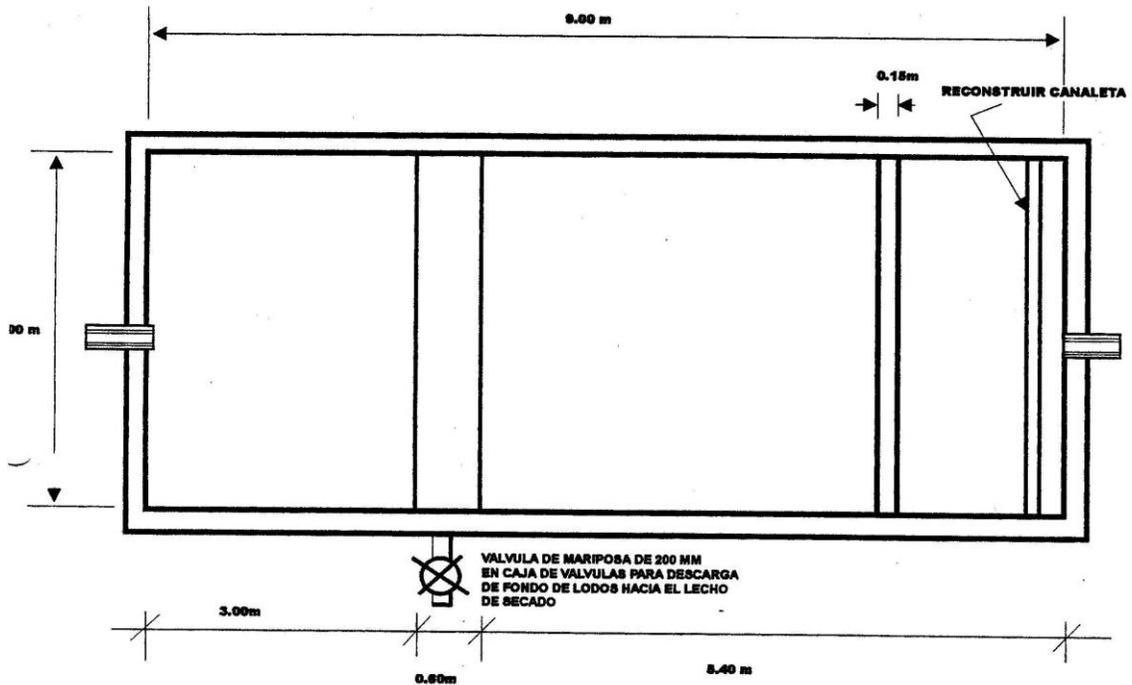
Soto, N. 2002. **Evaluación de las descargas no domésticas vertidas al sistema de alcantarillado sanitario, y del sistema de bombeo y Tratamiento de Aguas Residuales de tipo Lodos Activados El Roble Puntarenas (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados).** Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 141p.

Tratamiento Biológico de los Residuos
<<http://webcd.usal.es/web/transgen00/Unidades/Documen00/residuos/residuos.htm>> (4 abril 2002)

Unda, F. 1999. **Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública.** 3 ed. Editorial LIMUSA, S.A. de C. V. México D.F, México. 967 p.

Valerín, K. 2002. **Evaluación Físico-Química y Microbiológica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Planta Santa María del Beneficio F.J. Orlich ubicado en Orosí.** Informe de Práctica de Especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.

ANEXOS



SEDIMENTADOR PRIMARIO PLANTA (sin escala)

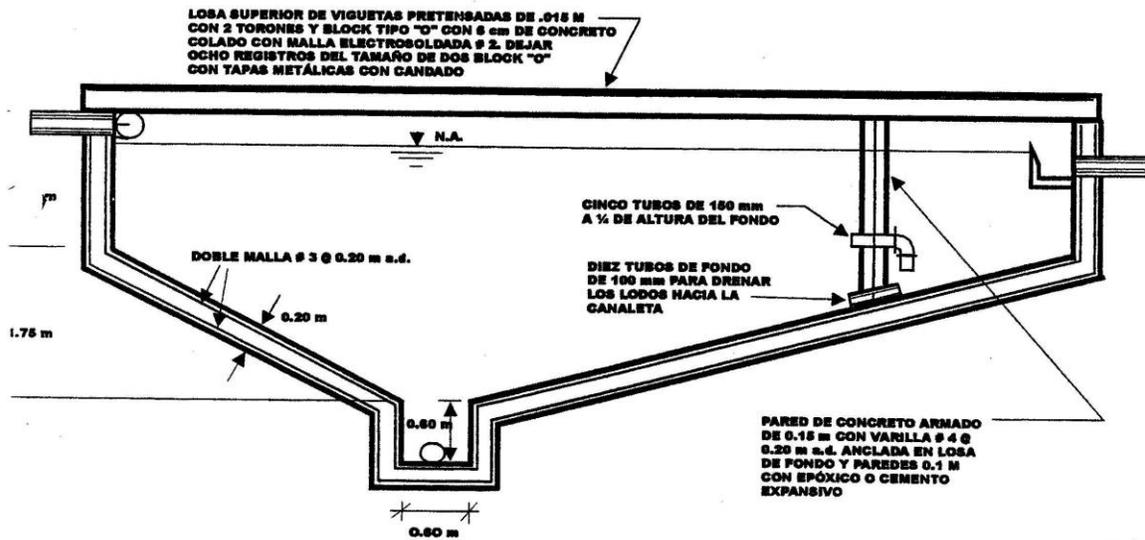


Figura 2. Sedimentador de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Cocorí, Cartago

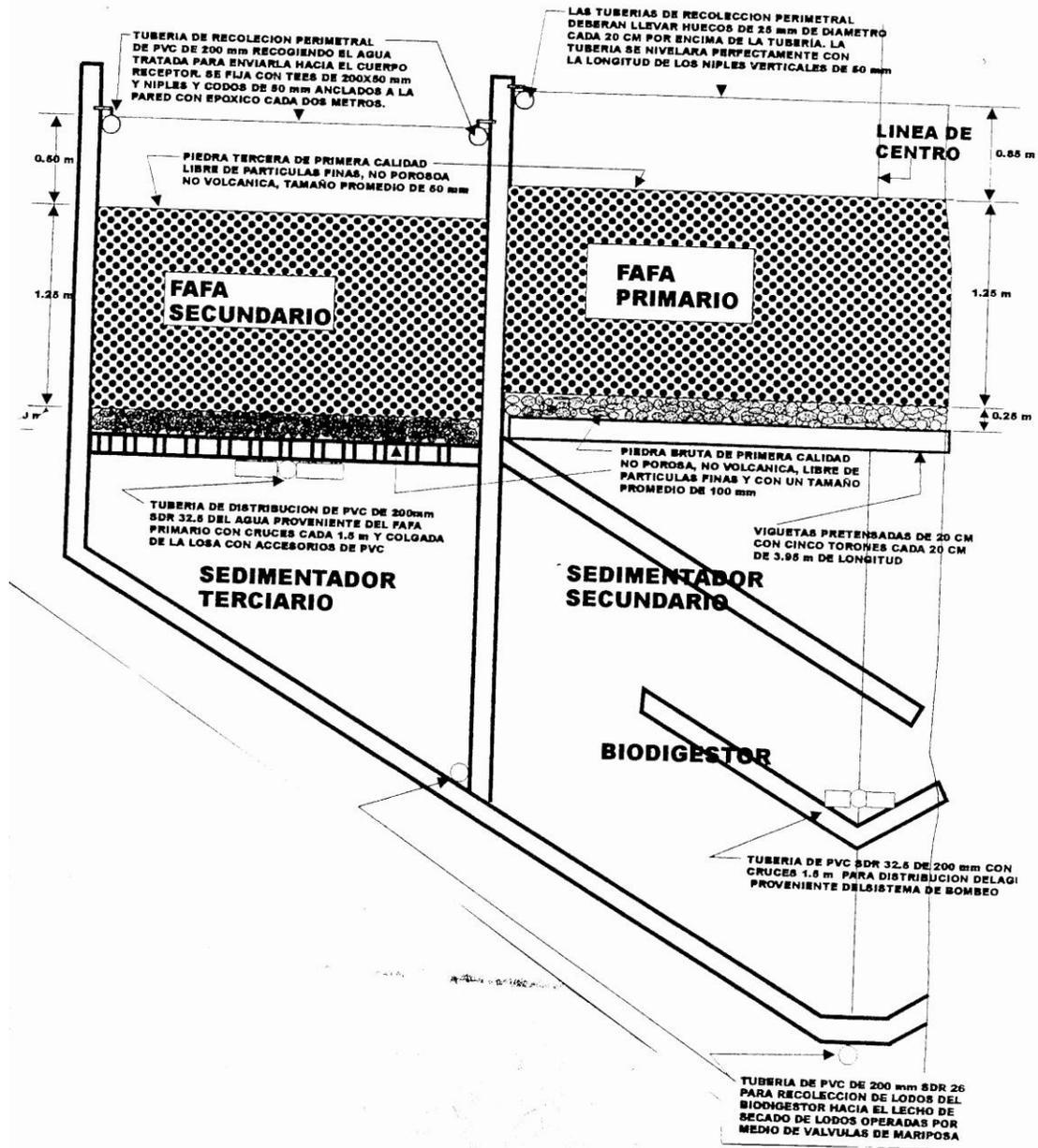


Figura 3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente en dos etapas, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, Cartago

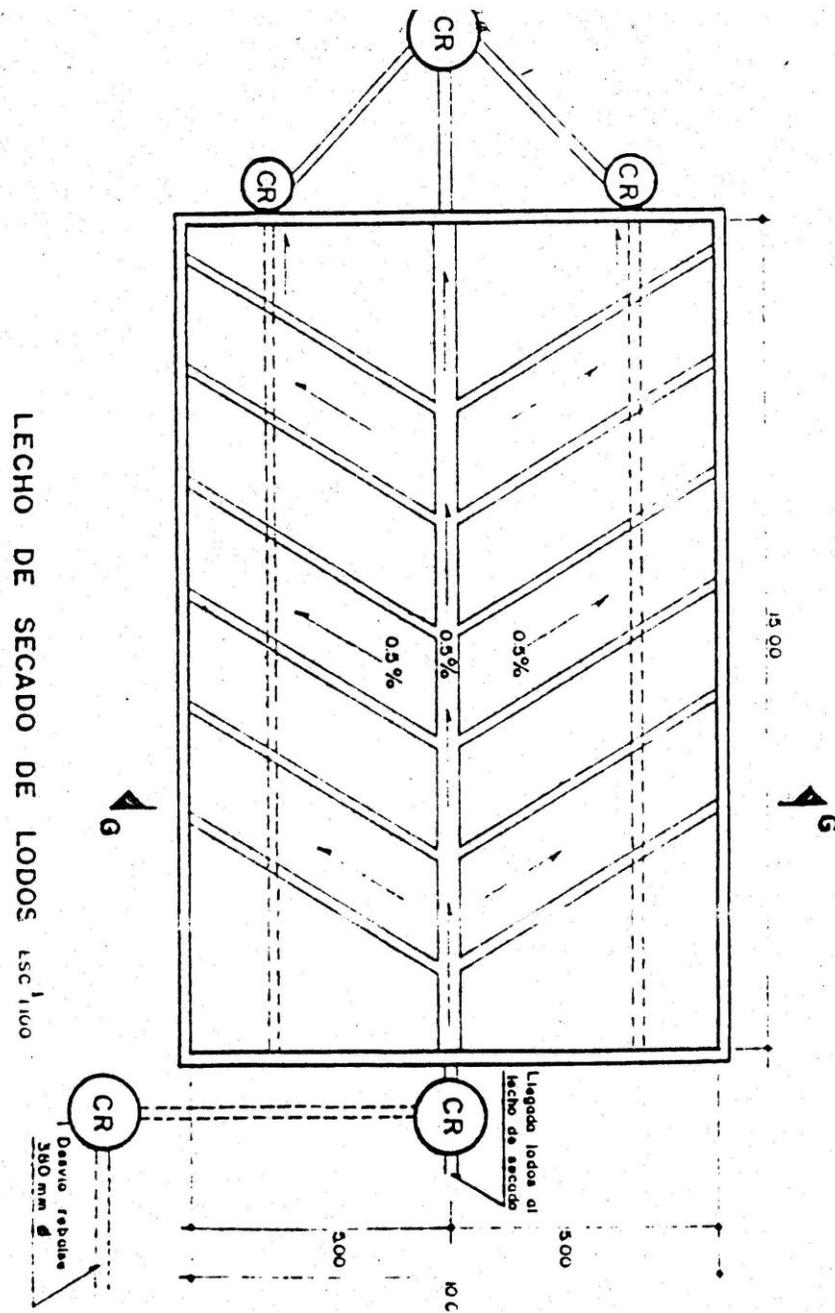


Figura 4. Lecho de Secado de Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cocorí, Cartago