

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
INGENIERÍA QUÍMICA

Mon
628.3
G136
2010

**Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas
Residuales Domésticas Generadas en Holcim
(Nicaragua) S.A.**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Velkin Massiel Gago Aburto

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR

Ing. Larisa Korsak

Agosto, 2010

Managua, Nicaragua

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. MARCO TEÓRICO	
3.1. Generalidades	3
3.2. Características de las Aguas Residuales	3
3.2.1. Características Físicas	3
3.2.2. Características Químicas	6
3.2.3. Características Biológicas	10
3.3. Sistemas de Depuración de las Aguas Residuales	11
3.3.1. Pre-Tratamiento	11
3.3.1.1. Rejillas	12
3.3.1.2. Desarenadores	12
3.3.1.3. Trampa para grasas y aceites	13
3.3.2. Tratamiento Primario	14
3.3.2.1. Sedimentación	14
3.3.3. Tratamiento Secundario	15
3.3.3.1. Fosa Séptica – Filtro Anaerobio de Flujo	15

Ascendente	
3.3.3.1.1. Fosa Séptica	17
3.3.3.1.2. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	21
3.3.4. Tratamiento terciario y disposición de lodos	25
3.3.5. Re uso del Agua	27
4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA EXISTENTE EN HOLCIM (NICARAGUA) S.A.	28
4.1. Descripción del Sistema de Tratamiento	28
5. MATERIAL Y MÉTODO	29
5.1. Determinar del caudal de agua residual de la planta de tratamiento	30
5.2. Caracterizar físico-químicamente las aguas residuales domesticas del sistema de tratamiento	30
5.3. Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento	32
5.4. Propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.	32
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
6.1. Determinación del caudal de agua residual en la planta de tratamiento	33
6.2. Caracterización físico-química de las aguas residuales domésticas del sistema de tratamiento	35
6.3. Determinación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento	44
6.4. Propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.	47
7. CONCLUSIONES	49

8. RECOMENDACIONES	50
9. GLOSARIO	52
10. NOMENCLATURA	55
11. BIBLIOGRAFÍA	57
12. ANEXO	61
ANEXO A Plano hidro-sanitario sector comercial Holcim (Nicaragua), S.A.	62
ANEXO B Resultados de la caracterización físico química y determinación del caudal residual.	67
ANEXO C Cálculos del capítulo presentación y discusión de resultado.	75
ANEXO D Tablas utilizadas en para el cálculo de porcentaje de remoción de los contaminantes.	87
ANEXO E Fotografía de la planta de tratamiento de agua residual domestica bajo estudio.	90

Lista de Tablas, figuras

Descripción	Página
Tabla 3-1 Tiempo de retención hidráulica.	24
Tabla 5-1 Descripción de los puntos de muestreo	30
Tabla 5-2 Parámetros físico químicos y métodos analíticos utilizados	31
Tabla 6-1 Caudal residual durante los días de muestreo	33
Tabla 6-2 Valores de la caracterización del afluente y efluente por muestreo.	35
Tabla 6-3 Valores promedio de la caracterización del afluente y efluente	36
Tabla 6-4 Cargas máxicas de los contaminante en el efluente final	43
Tabla: 6-5 Comparación de la concentración del efluente con la norma	44
Tabla 6-6 Porcentajes de remoción de Tanque séptico - FAFA	45
Tabla B-1 Caracterización físico-química del muestreo I	68
Tabla B-2 Caracterización físico-química del muestreo II	68
Tabla B-3 Caracterización físico-química del muestreo III	68
Tabla B-4 Valores de pH en el afluente durante los muestreos	69
Tabla B-5 Valores de temperatura en el afluente durante los muestreos	69
Tabla B-6 Valores de los sólidos sedimentables en el afluente durante los muestreos	70
Tabla B-7 Valores de pH en el efluente durante los muestreos	70
Tabla B-8 Valores de temperatura en el efluente durante los muestreos	71
Tabla B-9 Valores de sólidos sedimentables en el efluente durante los muestreos	71

Tabla B-10 Resultados del análisis físico-químico del afluente	72
Tabla B-11 Resultados del análisis físico-químico del efluente	72
Tablas B-12 Comparación de las características físico-químicas del afluente y efluente	73
Tabla B-13 Monitoreo del caudal durante los muestreos	74
Tabla C-1 Análisis estadístico del caudal	76
Tabla D-1 Plantas de tratamiento Fosa Séptica – FAFA en Nicaragua	88
Tabla D-2 Rango y límites máximos permisibles para descargas de aguas domésticas.	88
Tabla D-3 Rango y límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales tratadas utilizadas para el riego agrícola	89
Figura 5-1 Puntos de muestreo	29
Figura 6-1 Comportamiento del caudal residual	34
Figura 6-2 Comportamiento del pH	36
Figura 6-3 Comportamiento de la temperatura	37
Figura 6-4 Comportamiento de los sólidos sedimentables	38
Figura 6-5 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales	39
Figura 6-6 Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno	40
Figura 6-7 Comportamiento de la demanda química de oxígeno	41
Figura 6-8 Comportamiento de las grasas y aceites	42
Figura 6-9 Comportamiento de las sustancias activas al azul de metileno	43
Figura 6-10 Salida del agua en la cámara 1	46
Figura 6-11 Elevación de la trampa de grasa	47
Figura 6-12 Vista de planta de la trampa de grasa	48

Figura A-1 Plano hidro-sanitario sector comercial Holcim	63
Figura A-2 Elevación típica de fosa séptica y filtro anaerobio	64
Figura A-3 Elevación del filtro anaerobio	65
Figura A-4 Planta de fosa séptica y filtro anaerobio	66
Figura E-1 Caja de registro del afluente	91
Figura E-2 Afluente de cámara 1 del tanque séptico	91
Figura E-3 Agua domestica en cámara 1 del tanque séptico	91
Figura E-4 Agua en cámara 2 del tanque séptico	91
Figura E-5 Afluente de la cámara 2 tanque séptico	92
Figura E-6 Nata de cámara 2 del tanque séptico	92
Figura E-7 Tee del afluente cámara 2 del tanque séptico	92
Figura E-8 Nata de la cámara 2 tanque séptico	92
Figura E-9 Afluente de FAFA	93
Figura E-10 Efluente de FAFA	93
Figura E-11 Efluente y biomasa del FAFA	93
Figura E-12 Biomasa del FAFA	93
Figura E-13 Medio de soporte del FAFA	94
Figura E-14 Efluente y medio de soporte del FAFA	94
Figura E-15 Biomasa en el FAFA	94
Figura E-16 Afluente Pozo de adsorción	94
Figura E17 Pozo de Adsorción	95

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** todo poderoso, por haberme acompañado durante el caminar de mi carrera, por estar conmigo siempre, haberme dado la sabiduría para culminar este trabajo, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A **mis padres**, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. Como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por lo que soy y por todo el tiempo que les robé pensando en mí Por esto y más... Gracias.

A mis **hermanos** por ser la energía que necesitaba para seguir adelante.

A mis **profesores** por haberme enseñado el arte de la ciencia, su gran ayuda, por su esfuerzo e interés en todo momento de forma desinteresada, gracias de todo corazón sin su ayuda no hubiera sido capaz de realizarlo.

A **Holcim (Nicaragua) S.A** por haber permitido que dicho estudio se realizara en su empresa.

Y demás personas que de una u otra forma me ayudaron a salir adelante y comparten conmigo este triunfo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mis padres, hermanos y seres queridos.

RESUMEN

El presente trabajo consistió en realizar la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del comedor de transportistas de Holcim (Nicaragua), S.A, que incluye Tanque Séptico- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Esta evaluación se llevo a cabo mediante la medición de caudales para verificar las condiciones hidráulicas de la planta y la realización de análisis físico-químicos de las muestras de agua del afluente y efluente, que posteriormente permitieron determinar la eficiencia de remoción de contaminantes del sistema.

El caudal promedio total del efluente fue de 4.74 m³/día. Este valor corresponde a la cantidad de agua residual que es descargada a diario en el pozo de absorción para su integración al ambiente. Se encontró que los flujos hidráulicos y sus respectivos tiempos de retención hidráulica en el sistema están conforme a lo establecido por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL).

La caracterización físico-química del efluente, donde se analizaron los parámetros establecidos en el decreto 33-95, art.23 indicó que éste cumple con la legislación vigente, exceptuando los Aceites y Grasas; y Sustancias Activas al azul de metileno. También se verificó la carga de contaminantes en el efluente.

Los porcentajes de eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema fueron de 57.58% en DBO, 56.53% en DQO, 85.48% en SS, 19.22% en Grasas y aceites y 16.88% en Sustancias Activas al azul de metileno. Los bajos porcentajes de remoción se deben a los problemas actuales que presenta el diseño del tanque séptico, y la falta de remoción de grasas, como tratamiento preliminar a la unidad biológica. Para solucionar este problema se ha sugerido entre otras cosas la instalación de un desengrasador a la entrada del tanque y la modificación del diseño del tanque.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales empezaron a existir desde que el hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana.

Es así como en la antigüedad solo se reconoció la necesidad del transporte de los residuos mediante el uso del agua y desde luego, no se pensó en términos tales como la contaminación, producto de la descarga incontrolada de los residuos orgánicos e inorgánicos en las corrientes.

El manejo de las aguas residuales y su tratamiento es un problema moderno que ha preocupado al hombre contemporáneo, la razón fundamental es que el desarrollo industrial y el crecimiento demográfico amenaza seriamente el deterioro de la masa de agua.

En busca de una alternativa de solución para esta preocupación, se han realizado innumerables investigaciones que han hecho posible el desarrollo de diferentes sistemas de depuración de las aguas residuales, como lo son tratamientos físicos-químicos y biológicos; dentro de estos últimos encontramos los aerobios y anaerobios.

Holcim (Nicaragua), S.A siendo una empresa comprometida con el ambiente, ha adoptado la tecnología anaerobia tipo Fosa Séptica – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, para el tratamiento de sus aguas residuales domésticas con el objetivo de cumplir con la legislación ambiental vigente en el país y contribuir a la conservación de los recursos naturales.

La calidad de agua tratada se monitorea por la empresa desde el inicio del funcionamiento de la planta purificadora.

Los parámetros de la calidad del agua tratada en la mayoría de los casos cumplen con los valores máximos permisibles establecidos en el decreto 33-95 arto 23. Sin embargo, se observan fluctuaciones en cuanto a la concentración de Grasas y aceites, DBO, DQO y Sustancias Activas al Azul de Metileno.

En vista de esto, el presente trabajo consistió en la evaluación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del comedor de transportistas que posee dicha empresa, para encontrar las causas posibles que están generando este problema y así corregirlo, contribuyendo de esta manera a la mejora continua en pro del medio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del comedor de transportistas de Holcim (Nicaragua), S.A.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el caudal de agua de desecho en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas
- ✓ Caracterizar físico-químicamente las aguas residuales domésticas del sistema de tratamiento
- ✓ Determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento
- ✓ Realizar propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Generalidades

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el proyecto y explotación de las infraestructuras, tanto de recolección como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad del medio ambiente.

Las características de las aguas residuales de una localidad en particular deben averiguarse, por medio de pruebas de laboratorio, para determinar cuál será el tratamiento necesario y aplicar los métodos más efectivos.

Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas establecidas que aseguren precisión y exactitud. Un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas residuales, requiere un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben determinar.

3.2. Características de las Aguas Residuales

3.2.1. Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Metcalf & Eddy, V.I. p. 59, 1996).

Sólidos

El término sólidos se refiere a la materia orgánica suspendida o disuelta que a su vez puede brindar información de la cantidad de materia orgánica e inorgánica que contiene el agua (Standar Methodos, 1998).

✓ Sólidos Sedimentables

Son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (Cono imhoff) en el transcurso de 60 minutos (Estándar Methodos, 1998). Los sólidos sedimentables expresados en ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá de la decantación primaria del agua residual (Metcalf & Eddy, V.I. p.60, 1996).

✓ Sólidos Volátiles

Los sólidos totales volátiles se refieren al contenido de materia orgánica presente en el agua residual (Standar Methodos, 1998).

✓ Sólidos Suspendidos

Son aquellos que están en suspensión y son perceptibles a simple vista en el agua. Son sólidos que pueden ser separados del agua residual por medios físicos o mecánicos. Se definen más exactamente como la cantidad de sólidos que quedan retenidos en la membrana de filtración y en un determinado volumen de muestra (Standar Methodos, 1998).

Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al depósito de fangos y de condiciones anaerobias cuando las aguas residuales se vierten sin tratar al entorno acuático.

✓ Sólidos Disueltos

Son partículas que no pueden filtrarse, por lo tanto se hace necesario el uso de métodos y procesos de coagulación u oxidación biológica seguida del proceso de sedimentación para su separación. Se definen como la materia que queda después de haber filtrado y evaporado un volumen de muestra a 103 -105°C (Standar Methodos, 1998).

✓ Sólidos Totales

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105°C. No se define como solida aquella materia que se pierde durante la evaporación debida a su alta presión de vapor.

Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse el sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Metcalf & Eddy, V.I. p.63, 1996).

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principal debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores durante los meses más calurosos del verano.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35°C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50°C. A temperaturas de alrededor de 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5°C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2°C, incluso las bacterias químio heterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar (Metcalf & Eddy, V.I. p.70-72, 1996).

Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, se expresa en Kg/m^3 . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domesticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obteniendo como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua a la misma temperatura. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual (Metcalf & Eddy, V.I. p.72, 1996)

Color

Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro,

para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domesticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Metcalf &Eddy, V.I. p.72, 1996).

3.2.2. Características Químicas

Grasas y Aceites

Las grasas y aceites son el tercer componente, en importancia de los alimentos. El término grasa, de uso extendido, engloba las grasa animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. El contenido de grasa se determina por extracción de la muestra con triclorotrifluoretano, debido a que la grasa es soluble en el.

Las grasas animales y los aceites son compuestos de alcohol (esteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que se presentan en estado líquido a temperaturas normales se denominan aceites, mientras que los que se presentan en estado sólido reciben el nombre de grasas. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones.

Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Las grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas y ciertas frutas.

Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. La mayor parte de estos aceites flotan en el agua residual, aunque una fracción de ellos se incorpora a los fango por los sólidos sedimentables. Los aceites minerales tienden a recubrir las superficies en mayor medida que las grasas, los aceites y los jabones. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo de la actividad biológica y son causa de problemas de mantenimiento.

La presencia de grasas y aceites en el agua residual puede provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables (Metcalf &Eddy, V.I. p.74-75, 1996).

Agentes tensoactivos o surfactantes

Son moléculas orgánicas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de cuerpos de aguas receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua.

Los detergentes sintéticos generalmente tensoactivos típicos como es el alquilbenceno sulfonato (ABS), ocasionan problemas por su alta resistencia a la degradación biológica. Se han sustituido estos tensoactivos por sulfonatos de alquilo lineales, los cuales son biodegradables y ocasionan menos problemas de espuma.

A su vez, la toxicidad de los tensoactivos representa un serio peligro a la flora y fauna acuáticas; aun cuando esta agua no sea utilizada para riego, pueden contaminar el suelo y, por consiguiente, afectar los cultivos. Otro problema que resulta de la formación de espuma en las corrientes de agua es que esta dificulta la transferencia de oxígeno atmosférico al agua. Además, el contenido de fosfatos de los detergentes, junto con otros nutrientes, contribuye a una sobrepoblación de la flora acuática, especialmente algas, las que al morir, por acción degradativa de los microorganismos, ocasionan una mayor demanda de oxígeno que resulta perjudicial para los peces y para el propio cuerpo de agua (eutrofización).

Características de los agentes tensoactivos.

Los agentes tensoactivos son adsorbidos en las interfases agua - aceite a causa de sus grupos hidrófilos ("amantes del agua") o polares, conocida como cabeza hidrofílica, y de sus grupos lipófilos ("amantes del aceite") o no polares conocida como cola hidrofóbica. Algunos de los grupos hidrófilos, los cuales se orientan hacia la fase polar, son: $-OH$, $-COOH$, $-SO_4H$, y como ejemplos de grupos lipófilos (también denominados hidrófobos), que se dirigen a la fase no polar, pueden citarse los hidrocarburos alifáticos y cíclicos.

Clasificación de los surfactantes

Los surfactantes se clasifican de acuerdo con su disociación electrolítica, la cual depende de la naturaleza del grupo polar, y pueden ser de cuatro tipos: aniónicos, catiónicos, no-iónicos (neutros) y biológicos (Ramos Olmos, p.95-97, 2003).

- ✓ Surfactantes aniónicos: Son sales de sodio que ionizados producen ión Na^+ mas una carga negativa, el ión surfactante activo. Los mas comunes son el sulfonato de alquilo lineal (LAS). La principal diferencia entre ellos es que la configuración molecular de LAS es lineal, y muy ramificada en el ABS. Este tipo de surfactantes son los que se evalúan como las Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).

- ✓ **Surfactantes catiónicos:** Son compuestos cuaternarios de hidróxido de amonio, que presentan actividad antimicrobial. Se usan como agentes de sanidad por sus propiedades desinfectantes.
- ✓ **Surfactantes no iónicos (neutros):** Son ionizados y actúan sobre las moléculas haciéndolas solubles. Todos dependen de polímeros de óxido de etileno para darles esta propiedad. Una característica de estos compuestos es que presentan poca tendencia para formar espuma abundante cuando se mezclan con otros materiales.

Suelen usarse para desinfección, ablandamiento textil y varios fines cosméticos, más que por sus propiedades detergentes. Estos tensoactivos son evaluados como Sustancias Activas al Tiocianato de Cobalto (SATC).

- ✓ **Detergentes Biológicos:** Recientemente aparecieron en el mercado los llamados detergentes biológicos, que son una mezcla de detergente común con perfume, colorante y un agente biológico el cual le proporciona mayores ventajas en el lavado de la ropa.

Pesticidas y productos químicos de uso agrícola

Los compuestos orgánicos que se hallan a nivel de trazas, tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos de uso agrícola, son tóxicos para la mayor parte de las formas de vida y, por lo tanto, pueden constituir peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos no son constituyentes comunes de las aguas residuales, sino que suelen incorporarse a las mismas, fundamentalmente, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne de pescado (con lo que reduce su valor nutritivo), y el deterioro de la calidad del agua suministrada. Muchos de estos compuestos químicos están catalogados como contaminantes prioritarios (Metcalf & Eddy, V.I. p.97, 1996).

Demanda Bioquímica de Oxígeno

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicado tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO_5). La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, V.I. p.80, 1996).

Los ensayos de DBO se emplean para:

- ✓ Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requeriría para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- ✓ Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales
- ✓ Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
- ✓ Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Demanda Química de Oxígeno

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales.

Desde el punto de vista ambiental, la DQO es una medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de agua. Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente (esto es oxidada) al CO_2 y H_2O mediante un proceso lento que puede tardar, desde unos pocos días hasta unos cuantos millones de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la biodegradación.

En las pruebas de DQO se acelera artificialmente el proceso de biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproductibilidad y comparabilidad de las mediciones.

La DQO está en función de las características de la materia presente, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc., por lo que es bien evidente que la reproducibilidad de los resultados y su interpretación no podrán ser satisfactorias más que en las condiciones de metodología bien definida y estrictamente respetada.

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica (Metcalf & Eddy, V.I. p.93, 1996).

pH

La concentración de ion hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia para el agua residual. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrogeno

inadecuadas presentan dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración del ion hidrogeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Metcalf &Eddy, V.I. p.95, 1996).

La concentración del ion hidrogeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas del agua. El agua se disocia en iones hidroxilo e hidrogeno del siguiente modo:



Alcalinidad

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio el potasio o el amoniaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos a los usos domésticos.

La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que emplee tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoniaco mediante arrastre por aire (Metcalf &Eddy, V.I. p.97, 1996).

3.2.3. Características Biológicas

Los organismos patógenos son usualmente excretados por los humanos por el tracto gastrointestinal y descargados por medio del agua. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son: las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes, en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales (Metcalf &Eddy, V.I. p.106, 1996).

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplean Coliformes como organismos indicadores, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

Los indicadores bacteriológicos son: Coliformes Totales, Coliformes Fecales, y *Streptococo Fecal*.

3.3. Sistemas de depuración de las Aguas Residuales

Los métodos de alternativa para tratamiento de agua residual se clasifican en tres principales categorías: tratamiento primario (procesos físicos), tratamiento secundario (procesos biológicos) y tratamiento terciario (combinación de procesos físicos, químicos y biológicos) o tratamiento avanzados (Shun Dar Lin, 2003), cada uno de los cuales se discute separadamente.

3.3.1. Pre-tratamiento

Con un pretratamiento pretendemos separar del agua residual tanto por operaciones físicas como por operaciones mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza (grasas, aceites, etc.) o por su tamaño (ramas, latas, etc.) crearían problemas en los tratamientos posteriores (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos,..). Por lo tanto, los dispositivos para el tratamiento preliminar se diseñan para:

- ✓ Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de madera, telas, papel, basura junto con algo de material fecal.
- ✓ Separar los sólidos inorgánicos pesados, con la arena, la grava e incluso objetos metálicos; a todo lo cual se llama arena.
- ✓ Separar cantidades excesivas de Aceites y grasas.

Operaciones de pre tratamiento

Las operaciones de pre tratamiento incluidas en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) dependen de:

- ✓ La procedencia del agua residual (doméstica, industrial, etc.)
- ✓ La calidad del agua bruta a tratar (mayor o menor cantidad de grasas, arenas sólidos,...)
- ✓ Del tipo de tratamiento posterior de la PTAR.
- ✓ De la importancia de la instalación

Las operaciones son:

- ✓ Separación de grandes sólidos (Pozo de Gruesos)
- ✓ Desbaste
- ✓ Tamizado
- ✓ Dilaceración

- ✓ Desarenado
- ✓ Desaceitado-desengrasado
- ✓ Pre aireación

En una planta depuradora no es necesaria la instalación de todas estas operaciones. Dependerá de las características antes descritas. Por ejemplo, para un agua residual industrial raramente será necesario un desbaste.

3.3.1.1. Rejillas

La primera operación unitaria obligada en el tratamiento de aguas residuales es el cribado, esta operación se realiza usando rejas y circulando el agua a través de ellas. Sus principales objetivos son: reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente de aguas residuales crudas, evitar la obstrucción de los conductos, proteger los equipos y reducir al mínimo la absorción de oxígeno.

La distancia o la abertura de las barras de las rejillas dependen del tamaño de las partículas que se desean retener y eliminar mediante esta operación y de su limpieza, la cual puede hacerse de forma manual o mecánica.

Las rejillas o cribas pueden clasificarse de acuerdo a su colocación en fijas o móviles; por la sección transversal de sus barras en cuadradas, rectangulares, circulares o aerodinámicas; por el tamaño de la materia que se desea remover en micro rejillas, finas (0.1 - 1.5 cm), medianas (1.5 - 2.5 cm) y gruesas (2.5 - 5.0 cm); y, de acuerdo con su forma de limpieza en manuales o mecánicas.

En países en vías de desarrollo las rejillas más utilizadas son las de limpieza manual, fija o móvil y medianas o gruesas. No obstante en algunas macro plantas tratadoras de aguas es común ver rejillas operadas de manera mecánica. Generalmente están formadas por barras de hierro.

3.3.1.2. Desarenadores

Los desarenadores tienen como objetivo separar arenas, gravas, cenizas y cualquier otra materia que tenga una velocidad de sedimentación o peso específico, superior al de los sólidos orgánicos putrescibles presentes en el agua residual. La arena también incluye cascarones de huevo, pedazos de hueso, granos de café y grandes partículas orgánicas tales como residuos de comida.

La eliminación de esos materiales ayuda a proteger los equipos mecánicos móviles contra la abrasión y contra el desgaste anormal y a reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, canales y conductos, así como a disminuir la

frecuencia de limpieza en los digestores, la cual es necesario realizar para remover las acumulaciones excesivas de arena en tales unidades.

Existen diferentes tipos de desarenadores, los más comunes en el tratamiento de aguas residuales son los de flujo horizontal y los aireados, también conocidos como de flujo helicoidal.

3.3.1.3. Trampas para Grasas y Aceites

Este Tratamiento tiene por finalidad la eliminación de grasas, aceites, espumas y materias flotantes más ligeras que el agua para evitar interferencias en procesos posteriores. De esta forma se evita la sobrecarga de las siguientes unidades de tratamiento y la aparición de organismos filamentosos en los sistemas biológicos. Las grasas crean muchos problemas en la técnica de la depuración de aguas residuales.

Las trampas de grasas y aceites son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es similar al de un tanque séptico.

Se incluyen en sistemas de tratamiento de aguas residuales para establecimientos como estaciones de servicio (gasolineras), moteles, hospitales, restaurantes, hoteles, etc. en que existe una producción apreciable de grasas. Las trampas se colocan aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que la requiera para prevenir obstrucciones, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores, etc.

Al permitir el ingreso de las aguas residuales provenientes de restaurantes, lavanderías y estaciones de servicio, al interior de los tanques sépticos, existe la posibilidad de que sean descargados junto con el efluente del tanque en los sistemas de disposición sobre el suelo, o a las subsiguientes unidades de tratamiento. Las grasas y aceites, junto con los sólidos suspendidos, tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. Además, ocasionando graves problemas debido a su persistencia.

Recientemente, los problemas asociados con la remoción de grasas y aceite se han hecho cada vez más complejos, debido al aumento en el número de productos de cocina que contengan grasas y aceites. El problema se agrava a un mas gracias a la existencia de aceites solubles a temperaturas relativamente bajas, lo cual dificulta su remoción.

A pesar de contar en el mercado con un gran número de trampas de grasas y aceites, la eficiencia que proveen estos equipos está limitada por los cortos tiempos de retención de estas unidades. Muchas de ellas se valoran con respecto al caudal medio sin tomar en cuenta los caudales pico, como los que se observan

en restaurantes y lavanderías, el uso de tanques sépticos convencionales como unidades para la separación de grasas y aceites ha sido muy efectivo. Cuando se utilicen tanques séptico para remover grasa es necesario revisar las condiciones asociadas, ya que dependiendo de la configuración del tanque puede ser necesaria modificarlas. Por lo general, la entrada al tanque se ubica por debajo del nivel del agua y la salida cerca al fondo del mismo. Los tanques sépticos proporcionan un mayor volumen, con respecto a las trampas de grasas, lo cual resulta positivo para el tratamiento por cuanto permite alcanzar una máxima separación de grasas y aceites (Crites Tchobanoglous, p.325, 2000).

3.3.2. Tratamiento Primario

Los dispositivos que se usan en tratamiento primario, están diseñados para retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. Esto se lleva acabo reduciendo la velocidad del flujo. En el tratamiento primario la velocidad del flujo se reduce hasta uno o dos cm/s en un tanque de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se deposite la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente de aguas negras.

Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales tienen también la función adicional de servir para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentables, lo cual se conoce como digestión de lodos. Son diversos los tipos de tanques que se usan en este proceso.

3.3.2.1. Sedimentación

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, que es provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separe sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los fangos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90% de las materias decantables y el 65% de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35%.

En el tratamiento de aguas residuales se usa la sedimentación en las siguientes etapas:

- ✓ Sedimentación primaria para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas.
- ✓ Sedimentación intermedia para remover los sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios.
- ✓ Sedimentación secundaria para remover biomاسas y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios.
- ✓ Sedimentación terciaria para remover sólidos suspendidos y floculós, o precipitados químicamente.

3.3.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario, también conocido como “tratamiento biológico”, consiste en la estabilización de la materia orgánica contaminante, aún presente en el agua residual después del tratamiento primario, mediante la acción de una biomasa activa, especialmente bacterias. Actúa a través de procesos de absorción biológica, mecanismo que efectúan las bacterias a través de su membrana citoplásmica, con reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas, que permiten utilizar los sólidos disueltos como fuente de energía, de tal manera que una vez aprovechados, son transformados en sólidos mineralizados o estabilizados.

Por lo tanto, las bacterias se alimentan a través de su membrana citoplásmica, utilizando la fracción soluble (disuelta) de la materia orgánica. La anterior idea explica porqué es necesario incorporar los tratamientos biológicos para la depuración de las aguas residuales con contaminantes orgánicos, ya que los tratamientos preliminar y primario únicamente permiten la remoción de sustancias contaminantes en suspensión, las cuales por lo general representan la menor fracción contaminante de las aguas residuales, en comparación con la fracción soluble.

3.3.3.1. Fosa Séptica – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

El sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbico de flujo ascendente, se usa para tratar aguas servidas de pequeñas comunidades, obteniéndose resultados satisfactorios.

La técnica de funcionamiento “Fosa - Filtro” se basa en el principio de digestión natural, de que toda aquella sustancia orgánica susceptible a ser degradada por los microorganismos que se encuentran en la naturaleza, puede ser llevada a condiciones en las cuales estos microorganismos realicen dicho labor, pero con

una mayor eficiencia y de tal forma que no se generen molestias a la población y daños al medio ambiente.

La digestión anaerobia se puede definir como una fermentación bacteriana en ausencia de oxígeno, en la cual la materia orgánica es transformada principalmente en una mezcla de gases en la que predomina primordialmente el metano y dióxido de carbono.

Para poder discutir algunas generalidades sobre tecnologías de tratamiento anaeróbico, resulta necesario indicar primero la forma en que las bacterias anaeróbicas realizan sus funciones orgánicas. El proceso de biodegradación anaeróbica se efectúa en tres etapas.

En la I Etapa la materia orgánica compleja, tal como carbohidratos, proteínas y grasas, es transformada por un grupo de microorganismos facultativos en materiales orgánicos más simples, los cuales son solubilizados en el agua mediante acción de enzimas producidas por las células bacterianas.

Durante la II Etapa el material simplificado y solubilizado en la primera etapa es utilizado por un grupo especial de bacterias denominadas "acidogénicas". Estas bacterias lo fermentan y convierten en ácido orgánico como acético, propiónico, oleico y alcoholes simples, dióxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno, sustancias que en su mayoría producen problemas de malos olores.

En la III Etapa aparece otro grupo de bacterias denominadas "metanogénicas", las cuales utilizan los ácidos y alcoholes producidos por el grupo acidogénico, transformándolos en metano y dióxido de carbono, fundamentalmente, con reducción notable en la producción de olores molestos.

El aspecto vital que se debe comprender en este tema, es que las bacterias productoras de metano (metanogénicas) son las responsables de la estabilización o degradación de la materia orgánica, por lo que no se lograría eficiencia alguna en una planta de tratamiento anaeróbica a menos que hayan aparecido en cantidad y calidad adecuadas, las bacterias metanogénicas.

Por lo tanto, la eficiencia sanitaria en remoción de carga orgánica por parte del sistema biológico, dependerá de la adecuada operación de la fase metanogénica en el reactor anaeróbico. Esta condición se cumplirá a su vez, si se ha presentado una adecuada actividad acidogénica previa.

A lo anterior debe agregarse, que las bacterias metanogénicas son de lento crecimiento y muy susceptibles a las variaciones bruscas de temperatura, no así las acidogénicas. Esta es una de las razones por las cuales es fundamental controlar la temperatura en los reactores anaeróbicos, de lo contrario se producirá exceso de ácido con deterioro de la eficiencia sanitaria.

Esta situación explica también, que durante el arranque y operación inicial del tratamiento anaeróbico, la producción de olores molestos será mayor,

acompañado por una acidificación del agua (descenso del pH) y una pobre eficiencia en remoción de contaminación orgánica.

Debe decirse en este punto que el metabolismo anaeróbico se torna más eficiente conforme aumenta la temperatura, llegándose incluso a valores óptimos del orden de 57 °C, en la fase denominada termofílica. Debido a la dificultad práctica de operar en este rango de temperatura, las tecnologías patentadas prefieren optar por el rango mesofílico (cerca a 37 °C).

Estas condiciones no son usuales en nuestro medio centroamericano, por lo que se operan los sistemas anaeróbicos de tratamiento en fases de menor eficiencia, con temperaturas que oscilarán en los rangos de operación entre psicrófila y mesofílica (30°C-38°C y 38°C-50°C respectivamente), aprovechando únicamente la temperatura ambiente (en nuestro medio es cálida).

3.3.3.1.1. Fosa Séptica

La fosa séptica, permiten la sedimentación y la eliminación de flotantes, actuando también como digestores anaerobios.

Es un sistema que ayuda a eliminar los sólidos suspendidos y las grasas que se encuentran en un efluente. En la fosa, el agua residual es llevada a condiciones de reposo, lo que permite que haya una buena sedimentación de sólidos, para que estos sólidos sean bien digeridos, se depositan en el fondo donde son degradados por microorganismos anaerobios especializados. Se requiere que estos microorganismos permanezcan durante algún tiempo en el interior de la fosa. Luego de un tiempo razonable la fosa se deberá limpiar, sin eliminar completamente el lodo del fondo de la misma para permitir la generación posterior de la masa bacterial.

Descripción del tanque séptico

El tanque séptico es un dispositivo en forma de cajón, enterrado, hermético y construido para proveer las siguientes operaciones y procesos en el agua residual:

- ✓ Separar sólidos de la parte líquida
- ✓ Proveer digestión limitada a la materia orgánica
- ✓ Almacenar los sólidos separados o sedimentados
- ✓ Permitir la descarga del líquido clarificado para el posterior tratamiento y disposición

Los sólidos sedimentados se acumulan en el fondo del tanque, mientras que una espuma liviana compuesta de grasa se levanta y se forma en la superficie. El líquido parcialmente clarificado sale por una tubería localizada por debajo de la capa de espumas para evitar que estos salgan.

Procesos que se realizan dentro del tanque séptico

- ✓ Eliminación de sólidos: las aguas residuales al entrar en el tanque séptico disminuyen su velocidad y permanecen en reposo durante un periodo de 12 a 24 horas. Los sólidos más pesados se depositan en el fondo del tanque, formando una capa de lodos. La mayoría de los sólidos ligeros como las materias grasas, suben a la superficie y forman capas de natas, mientras el efluente se lleva el resto de los sólidos en el sistema de evacuación.
- ✓ Tratamiento biológico: Las aguas residuales una vez que están en el tanque séptico son sometidas a descomposición mediante procesos naturales y bacteriológicos. Las bacterias que están presentes pertenecen al grupo de bacterias anaerobias, por que se desarrollan en ausencia de aire al ser el tanque una unidad hermética, con el fondo, la tapa y los muros impermeables. Esta descomposición de aguas residuales en condiciones anaerobias es llamada "séptica", de aquí el nombre del tanque.

Durante la descomposición se produce gas que asciende constantemente en forma de burbujas a la superficie, las burbujas arrastran a las bacterias y las depositan en el líquido entrante para que se dé el proceso de putrefacción.

- ✓ Almacenamiento de lodos y natas: El resultado más importante de la descomposición anaeróbica, la cual afecta no solo a los sólidos, sino también a la materia orgánica, disuelta o coloidal que contienen las aguas residuales, será una considerable reducción en el volumen de los sedimentos, lo que permitirá que el tanque séptico funcione por largo periodo de tiempo antes de darle limpieza.

Tipos de tanques sépticos

- ✓ Se definen los siguientes tipos de tanques sépticos:
 - Tanques convencionales de 2 o mas compartimientos
 - Equipados con un filtro anaerobio
 - Según el material de concreto de fibra de vidrio o de otros materiales
 - Según su geometría: rectangular o cilíndrica

Localización

Se deben conservar las siguientes distancias mínimas del lugar donde será ubicado el tanque:

- ✓ 1.5 m distante de construcciones y limites de terreno

- ✓ 3 m distantes de arboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua
- ✓ 15 m de agua de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

Criterios de diseños

Los principales factores que deben considerarse para fijar la capacidad del tanque séptico son:

- ✓ Caudal promedio diario de las aguas residuales
- ✓ Tiempo de retención hidráulica
- ✓ Espacio para la acumulación de lodos

Consideraciones de diseño

Las principales consideraciones que se deben tener en cuenta para el diseño y operación de tanques sépticos son: su configuración, su integridad estructural, su impermeabilización, su tamaño, sus accesorios, el empleo de grandes tanques sépticos, la programación de inspecciones y la limpieza del tanque séptico (Crites Tchobanoglous, p.318, 2000).

Dimensionamiento

A continuación, se detallan las consideraciones a tener en cuenta para el dimensionamiento del tanque séptico conforme a ENACAL:

- ✓ Número de cámaras: dos
- ✓ Relación entre la longitud total (L) y ancho (B): $2 < L/B \leq 4$
- ✓ Profundidad útil (h) mínima = 1.20 m
- ✓ El ancho máximo del tanque no deberá ser mayor que 2 h
- ✓ La primera y segunda cámara deberán tener un volumen igual a 2/3 y 1/3 respectivamente del volumen útil total calculado.
- ✓ La primera y segunda cámara deberán tener una longitud igual a 2/3 y 1/3 L respectivamente.
- ✓ El borde inferior de la abertura de pase entre las cámaras deberá estar a 2/3 de la profundidad útil (h) y el superior a una distancia mínima de 0.30 m bajo el nivel del líquido. El área total de la abertura deberá estar entre el 5 y 10% del área de la sección transversal del volumen útil.
- ✓ La rasante del tubo de entrada deberá estar a 0.075 m por encima de la superficie libre del líquido.

- ✓ Solo deberán proveer los correspondientes dispositivos de entrada y salida en los cuales la parte sumergida será no menor de 0.30 m y la parte fuera de la superficie del agua no menor de 0.20 m.
- ✓ Se deberá proveer en cada cámara una boca de inspección de forma circular con un diámetro no menor de 0.60 m y la tapa deberá estar colocada sobre un bordillo de 0.15 m de alto con respecto al nivel superior del tanque.
- ✓ El período de retención deberá ser de 0.5 días mínimo.
- ✓ La contribución de lodo fresco deberá ser de un litro/persona · d.
- ✓ Los coeficientes de reducción de lodos serán iguales a 0.25 y 0.50 para lodo digerido y lodo en digestión respectivamente.
- ✓ La capacidad para almacenamiento de lodo digerido deberá ser para un período mínimo de un año.

Toda instalación compuesta por tanque séptico y filtro anaeróbico ascendente se deberá proveer de sus respectivas eras (lechos) de secado para la deshidratación del lodo digerido procedente del tanque séptico.

Materiales utilizados

Los tanques se construyen con materiales no susceptibles de sufrir corrosión o deterioro, tales como: concreto reforzado, bloques de concreto reforzado y ladrillo principalmente. Si se utilizan bloques de concreto, se deben impermeabilizar las juntas y dotarles de revestimiento.

Funcionamiento y operación

Los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo, correspondiente en el agua tratada y se puede llevar para disposición en campos de infiltración o ser sometida a una unidad de tratamiento si esta existe. La materia orgánica retenida en el fondo del tanque se somete a un proceso de descomposición anaerobia y facultativa, transformándose en compuestos y gases más estables como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y sulfuro de hidrogeno (H₂S). El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto sobre todo de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual hace parte de la composición del papel higiénico; aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que en ultimas se acumulan. Es interesante anotar que los primeros tanques sépticos se conocieron como tanques de licuado, debido a que en ausencia de materiales extraños, todos los sólidos presentes en el agua cruda se transformaban en compuestos líquidos.

Aunque en los tanques sépticos se forme sulfuro de hidrogeno, no es común la formación de olores, ya que el sulfuro de hidrogeno se combina con los metales presentes formando sulfuros metálicos insolubles que se acumulan en los sólidos que se sedimentan. A pesar que la descomposición anaerobia reduce el volumen del material solido del fondo del tanque, y asciende junto con ellas aumentando el espesor de la capa de espuma formada en la superficie del tanque. A largo plazo, la acumulación de lodo y espuma hace que se reduzca la capacidad volumétrica efectiva del tanque; por tanto, es conveniente realizar bombeos periódicos del contenido del tanque a manera de mantenimiento programado (Crites Tchobanoglous, p.317, 2000).

Problemas de Operación

Históricamente, el problema más importante que se presenta en la operación del tanque séptico es el arrastre de sólidos, grasas y aceites. Este arrastre de sólidos en el efluente del tanque séptico ocasiona la reducción prematura en la capacidad de asimilación de carga hidráulica en los campos de disposición del efluente por infiltración, dando origen a la formación de zonas húmedas en la vecindad de las zanjas de infiltración y, en ultimas, la acumulación del efluente en la superficie del suelo (Crites Tchobanoglous, p.317-318, 2000).El ingreso de aguas subterráneas al tanque séptico sin impermeabilización trae como resultado:

- ✓ Sobrecarga hidráulica de los sistemas de disposición en campos de infiltración, provocando la acumulación del efluente en la superficie del suelo.
- ✓ Interrupción del proceso de digestión anaeróbica que se desarrolla dentro del tanque séptico.
- ✓ Severa sobrecarga hidráulica en los procesos de tratamiento dispuestos aguas abajo, como es el caso de los filtros de lecho empacado intermitente y con recirculación. No está demás repetir que un tanque séptico debe poseer resistencia estructural y ser impermeable, si se desea que funcione adecuadamente para proteger así el medio ambiente.

3.3.3.1.2. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

El filtro anaeróbico de flujo ascendente es una alternativa para dar un tratamiento complementario al efluente de un tanque séptico.

El FAFA es un reactor en el cual el agua residual es introducida a través de un sistema de distribución localizado en el fondo, mediante el cual esta se impulsada, atravesando el medio de contacto o material de relleno inerte. El material de relleno provee a los microorganismos de una superficie para su crecimiento e incremento de la biomasa, la cual se encarga de la biodegradación de la materia orgánica.

Sus principales ventajas son su fácil operación y mantenimiento, consumo energético nulo, no requiere personal especializado para su mantenimiento y presenta una eficacia de remoción de alrededor del 80%.

Esta es una técnica en la cual se realiza o desarrolla un proceso biológico de depuración en ausencia de oxígeno molecular disuelto. El filtro se basa en la posibilidad de lograr una alta concentración de biomasa (microorganismos) en el interior del mismo. Esto se alcanza a través de los siguientes mecanismos:

- ✓ Adhesión de microorganismos a un medio de soporte, formando una película biológica.
- ✓ Atrapar los floculós bacterianos en los intersticios del material que rellena el reactor.
- ✓ Retener los sólidos biológicos dentro del reactor durante un largo periodo de tiempo.

La elevada concentración de microorganismos dentro del reactor permite que puedan alcanzarse bajos tiempos de retención hidráulica, altas eficiencias y rendimiento significativo en la producción de biogás.

Es importante que el medio filtrante posea una alta superficie específica y una amplia relación de vacíos, que permita una mayor superficie de contacto entre la capa biológica y el agua residual, ya que en el funcionamiento del filtro intervienen los sólidos suspendidos inertes y los digeribles que sedimentan rápidamente y que se acumulan en los espacios intersticiales. Esta acumulación (cuando llega a presentarse, y esto sucede cuando no se coloca un pre-tratamiento que elimine los sólidos suspendidos), la dispersión hidráulica, la acción de la mezcla de las burbujas de gas asciende y otros factores son los causantes de cortocircuitos y de la desviación del flujo ideal.

Debido a que la digestión anaerobia es un proceso biológico complejo, se deben considerar los factores que intervienen directamente en el funcionamiento de un sistema anaerobio. Para la digestión anaerobia en un rango óptimo de pH está entre 6.8 y 7.5. Sin embargo, el proceso ocurre satisfactoriamente en el rango de 6 y 8. La temperatura es otro parámetro importante que puede afectar la actividad biológica, valores entre 15 y 40°C, permiten que se realice el proceso; las temperaturas próximas al límite superior aceleran el proceso de degradación y contrariamente, las temperaturas cercanas al límite inferior hacen más lento el proceso. La alcalinidad es un indicador que nos permite determinar la capacidad que posee un agua determinada para neutralizar un ácido fuerte, esto es que el sistema se está salvaguardando contra fluctuaciones de pH.

A continuación, se detallan los criterios de diseños:

Recomendaciones para el diseño:

- ✓ El filtro deberá estar contiguo al tanque séptico, el tipo deberá ser de sección cuadrada, con un fondo falso perforado.
- ✓ El lecho filtrante deberá tener 1.20 m de altura. El material filtrante deberá tener una granulometría lo más uniforme posible pudiendo variar entre 4 y 7 mm colocándose la más gruesa en la parte inferior del lecho.
- ✓ La profundidad útil del filtro deberá ser de 1.80 m para cualquier volumen dimensionado.
- ✓ Para el cálculo de dimensiones del filtro se deberán utilizar las fórmulas siguientes:

$$V = 1.60 NCT$$

$$A = V/1.8$$

Donde: V = volumen útil en litros

N = Número de contribuyentes

C = Contribución en L/p.p.d

A = Área de la planta del filtro (m²)

- ✓ La pérdida de carga en el filtro deberá ser de 0.10 m; por lo tanto el nivel de salida del efluente del filtro estará a 0.10 m abajo del nivel de la superficie del agua en el tanque séptico.
- ✓ El fondo falso deberá tener aberturas con Φ : 0.03 m espaciados entre sí, 0.15m de centro a centro.
- ✓ El paso del tanque séptico hacia el filtro podrá ser de un tubo con una Tee en la salida del tanque y su rama vertical deberá estar curvada próximamente al fondo del filtro. El tubo deberá ser de PVC o Polietileno, con un diámetro no menor de 0.10 m.
- ✓ El filtro deberá proveerse de su boca de inspección similar a la indicada para el tanque séptico. También se le proveerá de un sistema adecuado para aplicarle agua a presión en la parte superior del lecho filtrante, cuando sea necesaria su limpieza.

Tiempo de retención hidráulica

En la Tabla 3-1 aparecen los valores de tiempo de retención hidráulica que se deben usar.

Tabla 3-1 Tiempo de retención hidráulica

Rango de la concentración orgánica del afluente al filtro anaerobio (expresada en DBO5total en mg/L)	Rango del tiempo de retención hidráulico en el filtro anaerobio. Se expresa t min, t máx., td1 y td2 Donde el tiempo de diseño td es igual a (td1 + td2)/2 (horas)				Valores del coeficiente característico del sustrato en digestión, K, para un sustrato "Típico" domestico o municipal correspondiente a los t expresados en la columna anterior			
	t min	td ₁	td ₂	t máx.	para t min	para td ₁	para td ₂	para t máx.
Mínima: 50								
Co (media): 65	3	4	6.5	12	1.4	1.5	1.6	1.8
Máxima:80								
Mínima: 80								
Co (media): 190	2.5	4	6.5	12	1	1.1	1.3	1.7
Máxima: 300								
Mínima: 300								
Co (media): 650	2.5	4	6.5	12	1.4	1.6	1.8	2.1
Máxima: 1000								
Mínima: 1000								
Co (media): 3000	3	6	8	12	1.7	1.9	2.1	2.5
Máxima: 5000								

Fuente: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (2006). Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Proporciones geométricas

Se recomiendan las siguientes proporciones geométricas:

$h = 0.10H$

$P = 0.15H$

$Vr3 = 0.66 A.baseH$

- Para filtros circulares:

$$A_{base} = \pi D^2/4$$

$$D \leq 2H$$

$$D = 3d$$

- Para filtros rectangulares:

$$A_{base} = Lb$$

$$b \leq L \leq 3b$$

$$L \leq 2H$$

$$l = (L - 0.5b) \text{ y } \phi \text{ de } l \text{ coincide con } \Phi \text{ de } L$$

$$0.6 \text{ m} \leq H \leq 1.80 \text{ m}$$

Medio de soporte

Se recomienda que los filtros anaerobios estén cargados en su totalidad con elementos de anclaje, salvo el 15% superior de su profundidad total. Esta zona superior sirve para homogeneizar la salida evitando los canales preferenciales de flujo. En filtros anaerobios de menos de 1.50 m de diámetro no hay ningún elemento colector en la superficie de esta zona para conducir el efluente hacia la salida. En unidades de diámetro mayor de 1.5 m, se recomienda un canal de bordes aserrados colocada al nivel de la superficie y en sentido diametral, para conducir uniformemente el efluente al orificio de salida.

El flujo entra al lecho poroso por el fondo del mismo y debe ser distribuido radialmente en forma uniforme, para este fin habrá un “difusor” en el fondo del lecho, al cual llega el flujo mediante un tubo o ducto, instalado dentro o fuera del cuerpo de la unidad.

Como medio de anclaje para los filtros anaerobios, se recomienda la piedra: triturada angulosa, o redonda (grava); sin finos, de tamaño entre 4cm y 7cm. En caso de que el ingeniero utilice otro tipo de medio, debe sustentar los valores del parámetro que vaya a utilizar en su diseño.

3.3.4. Tratamiento terciario y disposición de lodos

El tratamiento terciario (al que se conoce también como “tratamiento avanzado”) es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. Los tipos de procesos que se realizan en este tipo de tratamiento son:

Separación de sólidos en suspensión, adsorción en carbón activado (separación de compuestos orgánicos), intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis, oxidación química (cloración, ozonificación), métodos de eliminación de nutrientes (eliminación de nitrógeno y fosforo). Muchos de estos procesos, actualmente no se emplean demasiado en el tratamiento de aguas residuales, pero su empleo a mayor escala esta previsto conforme las exigencias de calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro.

En la mayoría de los procesos de tratamiento primarios, así como secundario, se producen lodos, de los que hay que deshacerse en forma adecuada. Los lodos que resultan únicamente de los procesos de separación solido- liquido (decantación, flotación) se conocen como lodos primarios, y los provenientes de procesos biológicos se designan lodos secundarios. Los primarios consisten en partículas solidas, básicamente de naturaleza orgánica. Los secundarios son fundamentalmente biomasa en exceso producidas en los procesos biológicos.

Una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en el proceso de tratamiento de aguas residuales se encuentra finalmente en estos lodos. Obviamente estos lodos no deben evacuarse sin un tratamiento adecuado previo, ya que estarían en contradicción con los objetivos de los procesos de tratamiento considerados.

Para el tratamiento y disposición de los lodos se necesita realizar seis pasos que pueden ser o no indispensables, en dependencia de las características del lodo. Estos son:

- ✓ Concentración: Espesamiento del lodo para reducir volumen.
- ✓ Digestión: Descomposición de los sólidos en otros más estables, menos ofensivos y de menor volumen.
- ✓ Deshidratación: Elimina la mayor cantidad de agua hasta obtener una pasta compacta.
- ✓ Acondicionamiento: Se agregan coagulantes químicos para mejorar la deshidratación.
- ✓ Lecho de secado: Es el método más económico y sencillo para deshidratar los lodos.
- ✓ Incineración: Se utilizan en grandes plantas de tratamiento mediante la utilización de hornos para la incineración de los mismos.
- ✓ Disposición final de los lodos: Utilización como acondicionador de suelos, fertilizantes o dispuestos en rellenos sanitarios.

3.3.5. Re-uso del agua

Los usos a que puede destinarse el agua residual depurada son múltiples, pero generalmente se reconocen como más frecuentes los industriales, los urbanos (reservas contra incendios, lavado de calles y de autos, por ejemplo), los forestales (viveros), los ornamentales y recreativos (jardines y parques), la recarga de acuíferos, los destinados a la mejora y preservación del medio natural y el riego de áreas agrícolas o de césped.

En el país existen normas que rigen las descargas de aguas residuales tratadas domesticas e industriales para su disposición mediante riego agrícola, en la producción de cultivos hortícolas que deberán cumplir con los rangos y límites permisibles estos se reportan en el arto 57 del decreto 33 - 95. (Ver anexo D, tabla D-3).

Un programa de reuso planificado del agua residual deberá contemplar la inclusión de tres elementos técnicos:

- ✓ Su tratamiento acorde con las normas establecidas para la finalidad en la cual será utilizado el efluente depurado.
- ✓ La definición de la cuantía y variabilidad de la norma bruta de consumo en el área a beneficiar.
- ✓ Su almacenamiento o regulación para adecuar el caudal suministrado por la estación regeneradora con la demanda.

Unos de los re-usos mas comunes que se le da el agua en el país es el pozo de absorción este es un sistema vertical de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes por lo general de una fosa séptica, a través de sus paredes y piso permeables. Dicho sistema proporciona al agua un tratamiento físico y biológico a través de la infiltración en un medio poroso.

Las dimensiones y número de pozos necesarios dependerán de la permeabilidad del terreno y se diseñan de acuerdo con la experiencia que se tenga en la región donde se construyen.

Para el correcto dimensionamiento de la profundidad del pozo de absorción se realizan las siguientes consideraciones:

- ✓ La permeabilidad del suelo. Esta característica debe ser definida de acuerdo a los resultados de las pruebas de percolación.
- ✓ Profundidad del nivel freático. Debe mantenerse una distancia mínima de 1,50 m entre el nivel freático y el nivel de desplante de la capa de grava del fondo del pozo.

4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA EXISTENTE EN HOLCIM (NICARAGUA) S.A

4.1. Descripción del Sistema de Tratamiento

Las aguas residuales que llegan al sistema provienen de las duchas, inodoros, limpieza del local y las labores que se realizan en la cocina. El sistema fue diseñado en 2 etapas: la primera, consistía en el Tanque Séptico, con el cual inició operación; y la segunda, se construyó en agosto del 2006, debido a recomendaciones del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA). El sistema fue ampliado y se puso en marcha la unidad de Fosa Séptica – Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

El agua a tratar se conduce mediante una tubería de alimentación de PVC de Φ 0.1m y llega por medio de gravedad a la fosa séptica de doble compartimiento. En esta unidad se logra la sedimentación y eliminación de la materia orgánica sedimentable, actuando también como digestor anaerobio. La primera cámara tiene un área total de 17.9 m², con una longitud de 3.4m, ancho de 2.2m y altura total de 1.95m; luego el agua pasa a la segunda cámara, la cual cuenta con un área total de 6.28m². Después el agua llega al FAFA, donde los microorganismos degradan la materia orgánica carbonacea. Esta unidad tiene un área superficial de 4.95 m² y ancho de 2.2 m y altura total de 1.95 m.

El FAFA esta conectado a un pozo de infiltración por medio de una tubería de PVC de Φ 0.1m, donde el agua es infiltrada al subsuelo.

5. MATERIALES Y MÉTODO

Para cumplir con los objetivos planteados en este estudio fue necesario realizar los muestreos completando las siguientes etapas:

1) Identificación del tipo de muestra y periodo de muestreo

Se realizaron nueve muestreos para la determinación del caudal y tres para la caracterización del agua residual; todo en el periodo del 18 de marzo al 30 de abril del año 2010.

Para la caracterización físico-química del agua se tomaron muestras representativas del caudal del agua residual, cada hora durante un periodo de 12 horas al día (6:00 a.m a 5:00 p.m). Este periodo se fijó en correspondencia a la jornada de trabajo, considerando las fluctuaciones en el uso del agua durante el día.

Las muestras compuestas fueron tomadas en recipientes plásticos. El volumen total de muestras recolectadas para la caracterización fisicoquímica fue de 1 galón, recolectando un volumen de 315 ml por cada hora. Las muestras fueron preservadas por el método de refrigeración durante los periodos de muestreo, manteniendo una temperatura de 4°C hasta el momento de analizarlas en el laboratorio.

2) Selección de puntos de muestreo

Fueron seleccionados dos puntos de muestreo, en la entrada y la salida del sistema, lo cual se indica en la Figura 5-1.

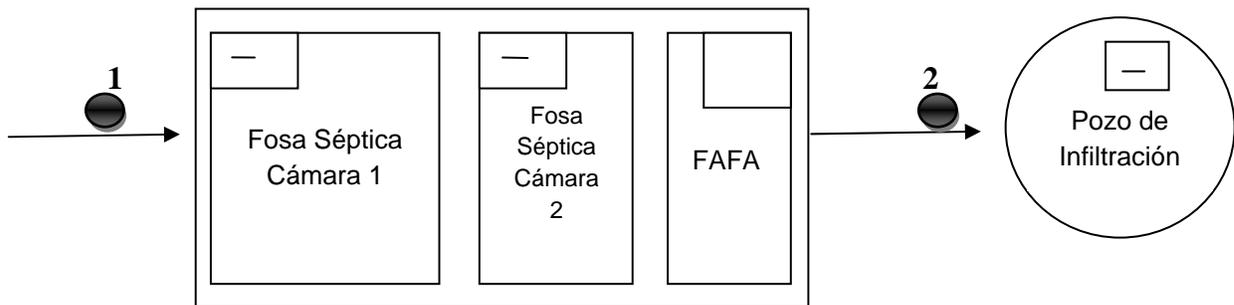


Figura 5-1 Puntos de muestreo

La descripción de los puntos de muestreo, se presentan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1 Descripción de los puntos de muestreo

Punto de Muestreo	Descripción	Objetivo
1	Entrada del sistema Fosa Séptica – FAFA.	Determinar las condiciones iniciales de las aguas residuales a tratar.
2	Salida del FAFA. A su vez este punto indica el afluyente al pozo de absorción.	Caracterizar la calidad del efluente final. Analizar la eficiencia de remoción del sistema Fosa-FAFA.

5.1. Determinar el caudal de agua residual de la planta de tratamiento

El caudal residual del agua únicamente se determinó en el punto de muestreo 2 (Ver Figura 5-1), ya que debido a las condiciones de diseño de la planta es el único lugar donde se podía medir. El método que se utilizó fue el volumétrico, que consiste en la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. El tiempo se midió por medio de un cronómetro. Se realizaron 9 mediciones en total.

Análisis del comportamiento del caudal residual

Con base en los resultados horarios de la determinación de los caudales de las 9 mediciones, se obtuvo un promedio horario y posteriormente, se graficaron dichos resultados obteniéndose la curva del comportamiento del caudal diario del proceso.

Análisis estadísticos de los resultados obtenidos

Se analizó estadísticamente los datos generados en la determinación del caudal residual a través de las características estadísticas de la media, desviación estándar, rango y mediana.

5.2. Caracterizar físico-químicamente las aguas residuales domesticas de la planta de tratamiento

En la caracterización físico-química se realizaron análisis de los parámetros establecidos en el decreto 33-95 Arto 23 aplicable a las descargas de aguas residuales domesticas tratadas a cuerpos receptores. Cabe señalar, que los mismos sirvieron para la evaluación de la eficiencia del sistema.

En la Tabla 5-2 se detallan los análisis que fueron realizados para cada punto de muestreo.

Tabla 5-2 Parámetros físico-químicos y métodos analíticos utilizados.

Parámetro	Unidad	Instrumento de medición*	Puntos de muestreos	
			1	2
pH	-	4500-H.B1	X	X
Temperatura	°C		X	X
Sólidos Sedimentables	mg/l	2540.F ¹ - <i>Cono Imhoff</i>	X	X
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2440.D1- (Secado al Horno 103°-105°C)	X	X
DBO	mg/l	5210-B11 -Absorción Atómica	X	X
DQO	mg/l	5220-C1- (Método Titulométrico)	X	X
Aceites y Grasas	mg/l	5220.D ¹ - <i>Extracción Soshlet</i>	X	X
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	<i>J Rodier (Pág. 532)</i>	X	X

*Fuente: Holcim (Nicaragua), S.A

Los resultados de los análisis permitieron realizar:

Valoración de la contaminación del afluente

El grado de contaminación del afluente se realizó con base en los estándares internacionales reportados en la literatura (a falta de indicadores nacionales).

Valoración de la contaminación del efluente

Para el efluente, se calcularon las cargas contaminantes (kg/día) de los principales parámetros ya que el agua residual tratada todavía trae dichos contaminantes.

Se comparó la concentración del efluente con el decreto 33-95, artículo #23 de la legislación vigente aplicable a las descargas de aguas residuales domésticas tratadas a cuerpos receptores.

5.3. Determinación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento

Para evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento, se utilizaron las concentraciones promedios de los contaminantes determinados en el afluente y efluente. Los porcentajes de remoción de los principales contaminantes del sistema se calcularon aplicando la ecuación (1), los cuales se compararon con aquellos sugeridos en la literatura para estos tipos de tratamiento.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{Concentración}_{\text{final}}}{\text{Concentración}_{\text{inicial}}} * 100 \quad (1)$$

5.4. Propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Con base en los resultados obtenidos en la medición de caudales, análisis, y lo observado durante el estudio se realizaron las propuestas para mejorar la eficiencia del sistema.

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Determinación del caudal de agua residual en la planta de tratamiento

Se realizaron 9 muestreos para la determinación del caudal residual. Los primeros tres incluyeron la realización de la caracterización físico-química y los restantes 6 fueron realizados únicamente para medir el caudal. Los 6 muestreos adicionales, se ejecutaron ya que mayor número de análisis aumenta la confiabilidad de resultados y fueron aceptados por la empresa ya que no presentaban algún costo. En la Tabla 6-1 se reportan los resultados de las mediciones de los caudales por día en los 9 muestreos mencionados.

Tabla 6.1 Caudal residual durante los días de muestreo

Muestreo	Fecha de realización	Caudal residual (m³/día)*
Muestreo I	Martes 18 de Marzo	6.567
Muestreo II	Lunes 12 abril	2.834
Muestreo III	Miércoles 14 de abril	5.062
Muestreo IV	Viernes 16 abril	3.651
Muestreo V	Lunes 19 de abril	3.264
Muestreo VI	Miércoles 21 abril	6.651
Muestreo VII	Lunes 26 abril	5.608
Muestreo VIII	Jueves 29 abril	5.371
Muestreo IX	Viernes 30 abril	3.646
Promedio		4.739

*Promedio del día de muestreo

Como se observa en la Tabla 6-1, los valores de los caudales durante los días muestreados fluctúan, ya que dependen del consumo de agua, y éstos a su vez, se relacionan con la cantidad de clientes atendidos que en su mayoría son conductores que abastecen de materia prima y utilizan las duchas.

Como se puede apreciar, el caudal se encuentra en un rango de 2.834 – 6.651 m³/día, presentándose el valor máximo durante el muestreo VI de 6.651 m³/día. El caudal promedio encontrado fue de 4.739 m³/d.

Comportamiento del caudal residual

Con base en los resultados horarios promedios de los 9 muestreos, se generó la curva del comportamiento del caudal diario durante la jornada de trabajo. Esta se presenta en la Figura 6-1.

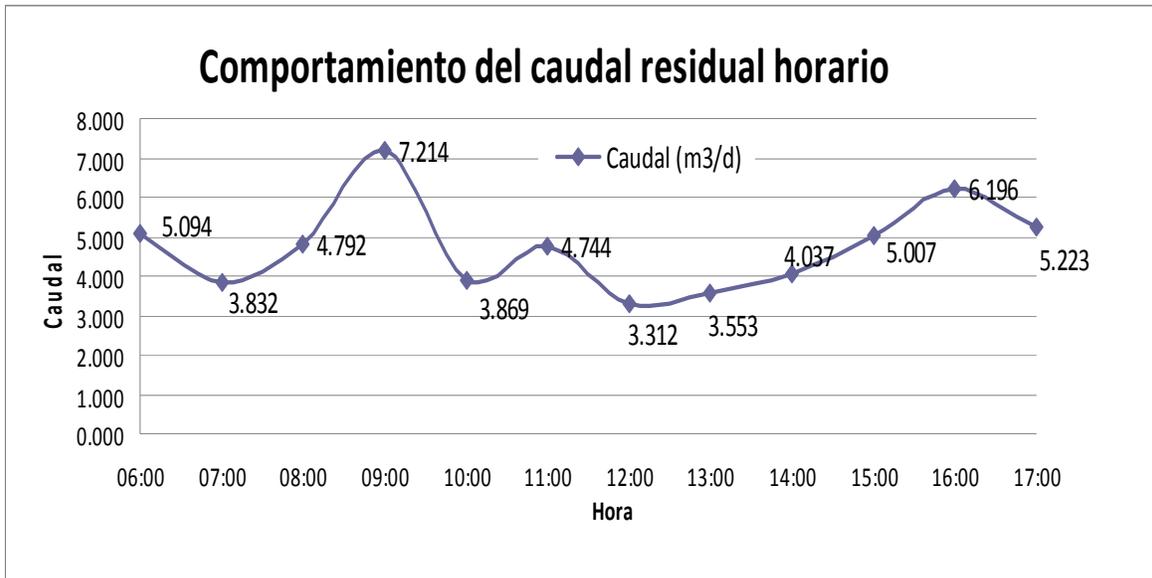


Figura 6-1 Comportamiento del caudal residual

En la figura se demuestra que el caudal fluctúa en un rango de 3.31 – 7.21 m³/d durante todo el día.

Se observa que el caudal pico se registró a las 9:00 horas del día con valores de 7.214 m³/d con un factor pico de 1.52; esto es debido a que en ese tiempo en la cocina se demanda mayor cantidad de agua para elaborar los alimentos. El menor caudal se registró a las 12:00 horas del día con factor mínimo de 0.7. A partir de ese momento comienzan a llegar los clientes y el caudal va en aumento debido al agua que se utiliza para lavado de manos, inodoro y mantenimiento del local.

Las variaciones en el caudal hacen que aumente o disminuya el tiempo de retención hidráulica en el sistema, el cual a su vez define el tiempo de contacto y por ende, la capacidad de los microorganismos que se encuentran en el filtro anaerobio para remover la materia orgánica presente.

Análisis estadístico

Se analizó estadísticamente los datos generados en la determinación del caudal residual a través de las características estadísticas:

La media es de 4.739 m³/día, la desviación estándar con respecto a la media es de 1.433 m³/día, el rango encontrado en el análisis es de 3.817 m³/día, con una

mediana de 5.062 m³/día. Los resultados demuestran la confiabilidad de los datos.

6.2. Caracterización físico-química de las aguas residuales del sistema de tratamiento

Se realizaron tres muestreos para la caracterización física química del sistema de tratamiento. Los análisis físico-químicos fueron hechos en el laboratorio LAQUISA. Holcim (Nicaragua), S.A., cubrió los gastos de los análisis y debido a limitaciones económicas no fue posible la realización de un mayor número de muestreos.

El primer muestreo se realizó el martes 18 de Marzo, el segundo lunes 12 de abril y el tercero miércoles 14 de abril.

Los valores de la caracterización del afluente y efluente por muestreo se reportan en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Valores de la caracterización del afluente y efluente por muestreo

Muestreo	I		II		III	
pH	6.72	7.24	6.70	7.14	6.75	7.34
Temperatura °C	30.16	29.79	30.41	30.47	30.33	30.83
S.S (mg/l)	1.26	<0.1	0.44	<0.1	0.37	<0.1
S.Susp.T (mg/l)	80	40	25	23	110	43
DBO (mg/l)	30	24	105	35	63	25
DQO (mg/l)	72	52	215.6	78.4	132	52
Grasas y Aceites (mg/l)	12.7	11.7	28.4	26.4	18.2	9.8
SAAM (mg/l)	0.38	0.29	5.5	4.3	5.73	5.06

El promedio de los parámetros en estudio durante los tres muestreos, tanto para el afluente como el efluente se presentan en la siguiente tabla, Tabla 6-3.

Tabla 6-3 Valores promedio de la caracterización del afluente y efluente

	Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
Físicos	pH	unidad	6.72	7.24
	Temperatura	°C	30.30	30.36
	Sólidos Sedimentables	mg/l	0.69	<0.10
	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	71.67	35.33
Químicos	DBO	mg/l	66.00	28.00
	DQO	mg/l	139.87	60.80
	Aceites y Grasas	mg/l	19.77	15.97
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	3.87	3.22

Parámetros físicos

✓ pH

La concentración de ion hidrogeno es un parámetro de gran importancia para el agua residual, ya que las concentraciones inadecuadas de éste presentan dificultades para los tratamientos biológicos.

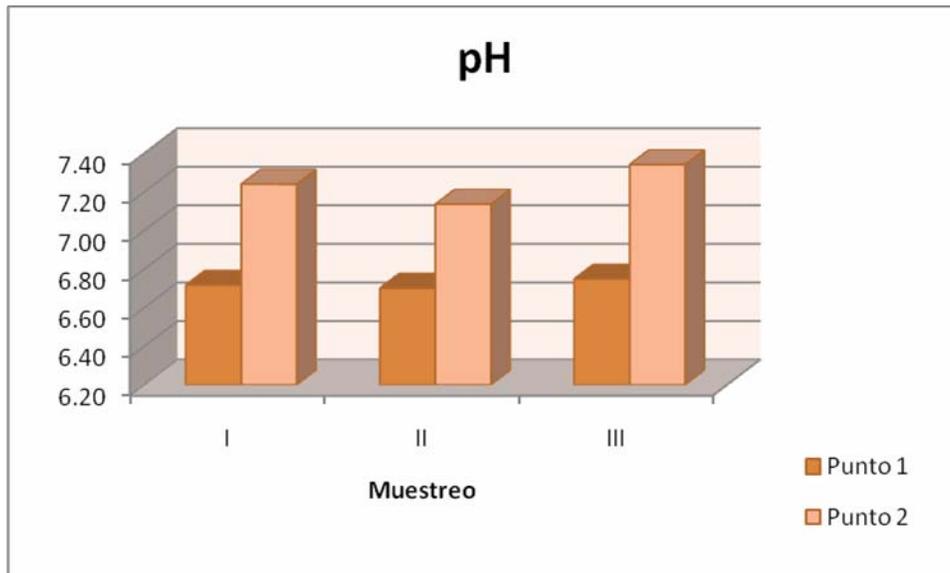


Figura 6-2 Comportamiento del pH

Como se puede observar en la figura 6-2, los valores del pH en el afluente oscilaron entre 6.70 - 6.75; de igual manera el efluente se mostró bastante estable, oscilando entre 7.14 - 7.34, contribuyendo esto a una buena digestión anaerobica. Los promedios durante los tres muestreos fueron: 6.72 para el afluente y 7.24 efluente. Los valores de pH del afluente y efluente durante los días de muestreos se presentaron dentro del rango óptimo de la digestión

anaerobia y cumplen con lo establecido en el decreto 33-95 arto 23 (pH 6.0 - 9.0).

✓ Temperatura

La temperatura es otro parámetro importante que puede afectar la actividad biológica. En la figura 6-3 podemos observar que la temperatura durante los tres días muestreados del afluente, es prácticamente constante, manteniéndose en un rango de 30.16 - 30.41°C. En el caso del efluente, este se mantuvo con un mínimo de 29.79°C y máximo de 30.83°C, por lo tanto se puede decir que el sistema opera en estado mesofílico.

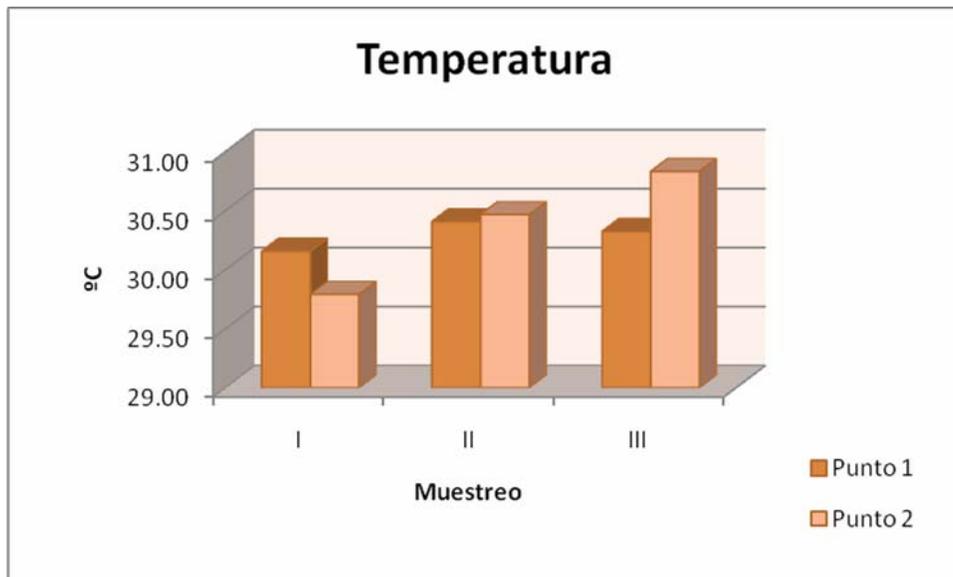


Figura 6-3 Comportamiento de la temperatura

En la Tabla B10 y B11 (Ver Anexos B), se aprecia que en el promedio del afluente y efluente (30.30 y 30.36°C respectivamente), no hay variación significativa de la temperatura a través de la unidad de tratamiento.

✓ Sólidos Sedimentables (SS)

Los valores de la concentración de sólidos sedimentables en el afluente son bajos, estos se encuentran en un rango de 0.37 -1.26 mg/l, presentándose un promedio de 0.69 mg/l.

En la Figura 6-4 se presenta el comportamiento de los sólidos sedimentables en los puntos muestreados.

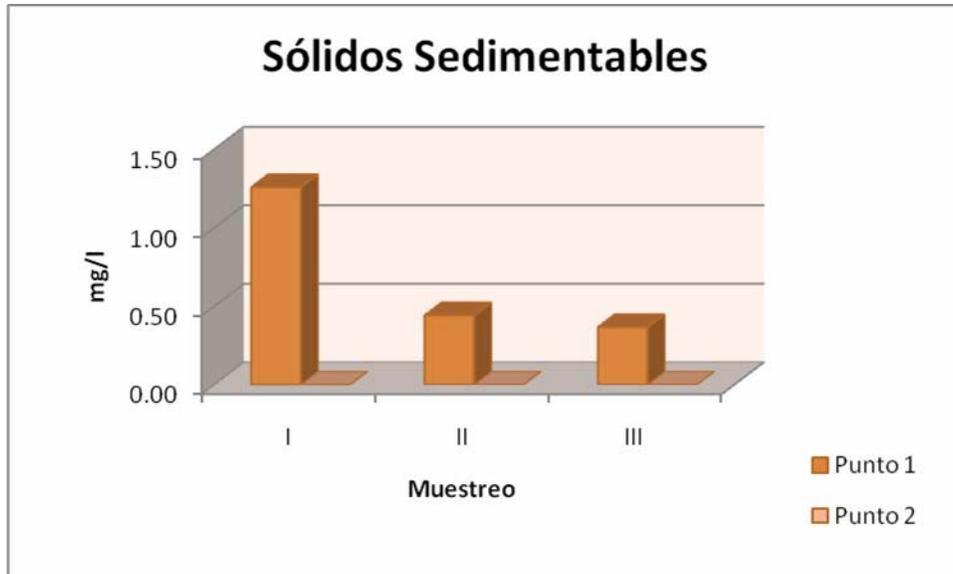


Figura 6-4 Comportamiento de los sólidos sedimentables

El valor promedio de los sólidos sedimentables en el efluente fue inferior a 0.1 mg/l. Cabe mencionar, que la norma nicaraguense establece como máximo permisible la concentración de sólidos sedimentables de 1 mg/l, por lo que desde el momento que el agua entra al sistema cumple con la norma.

✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La concentración de los sólidos suspendidos totales del afluente variaron en un rango de 25 – 110 mg/l con un promedio total de 71.67 mg/l. Según la clasificación ofrecida por Metcalf & Eddy, el afluente se considera de baja carga con SST, ya que es inferior a 120 mg/l.

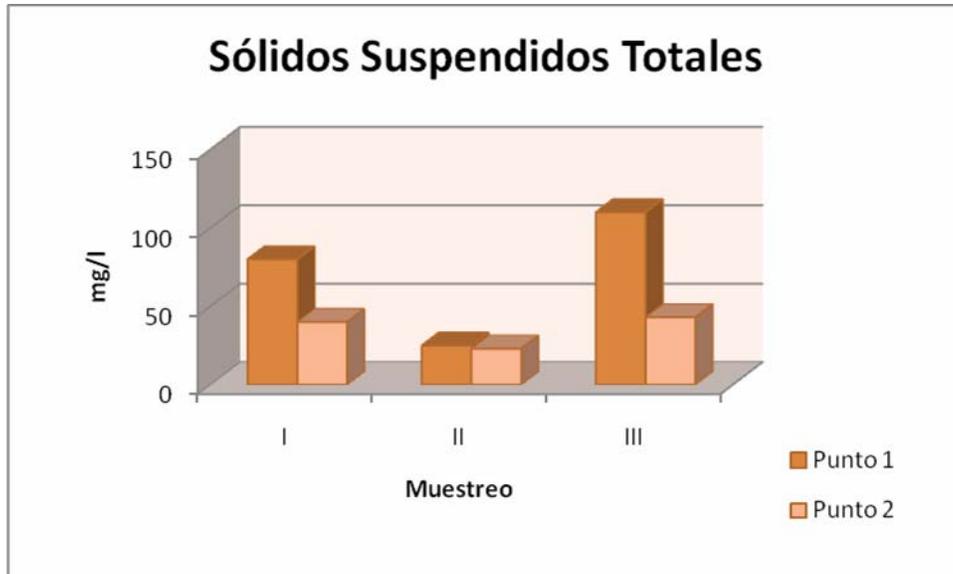


Figura 6-5 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales

En la figura 6-5, podemos ver que el promedio de la concentración de SST del efluente se redujo, manteniéndose en un rango de 23 - 43 mg/l, cumpliendo este perfectamente con lo establecido en las normas ambientales del país, que estipula 80 mg/l como el máximo permisible.

Parámetros químicos

✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es la medida por excelencia utilizada por las agencias reguladoras en todo el mundo para medir el grado de contaminación en las aguas residuales. Según Metcalf & Eddy, el nivel de contaminación del afluente en el sistema estudiado se considera de baja carga, ya que es inferior a 110 mg/l y oscila en un rango de 30 – 105 mg/l, con un promedio de 66 mg/l.

En la Figura 6-6 se muestra el comportamiento de los valores de DBO determinados durante los muestreos.

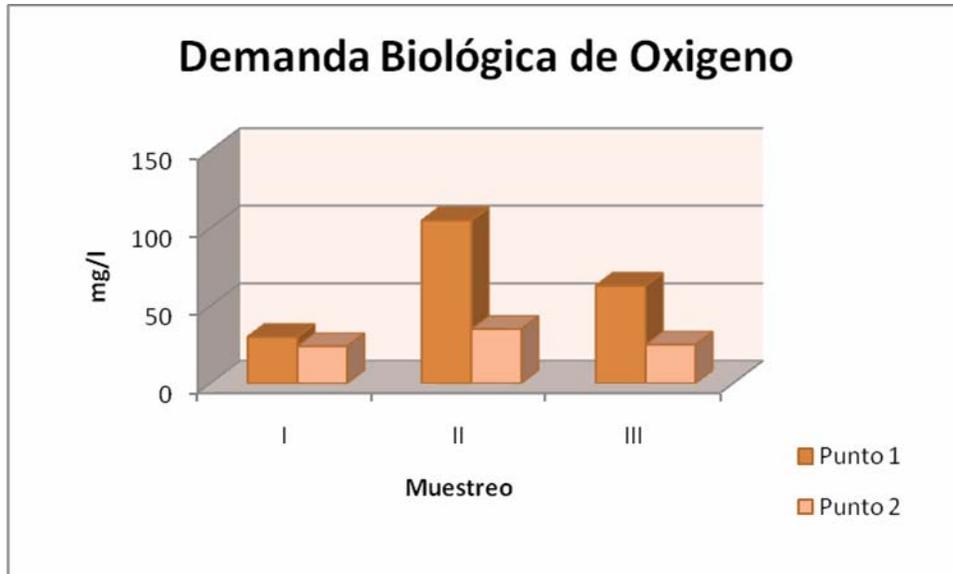


Figura 6-6 Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno

En el efluente se registraron valores de DBO entre 24 – 35 mg/l con un promedio de 28 mg /l, cumpliendo este parámetro con lo establecido en las leyes medioambientales del país, ya que estas mandan un valor límite máximo de 90 mg/l.

✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La concentración de DQO en el afluente en los tres muestreos fueron muy variables, presentando valores de 72, 215.6 y 132 mg/l correspondientemente. Esto puede deberse al uso descontrolado de detergentes no biodegradables y compuestos químicos que se utilizan en las labores de limpieza. El promedio de la concentración de la DQO es de 139.87 mg/l. El agua doméstica de la planta, con en dicho parametro se clasifica como de baja carga ya que este es inferior a 250 mg/l (Metcalf & Eddy, 1998). En la Figura 6-7 se presenta el comportamiento de los valores de DQO determinados durante los muestreos.

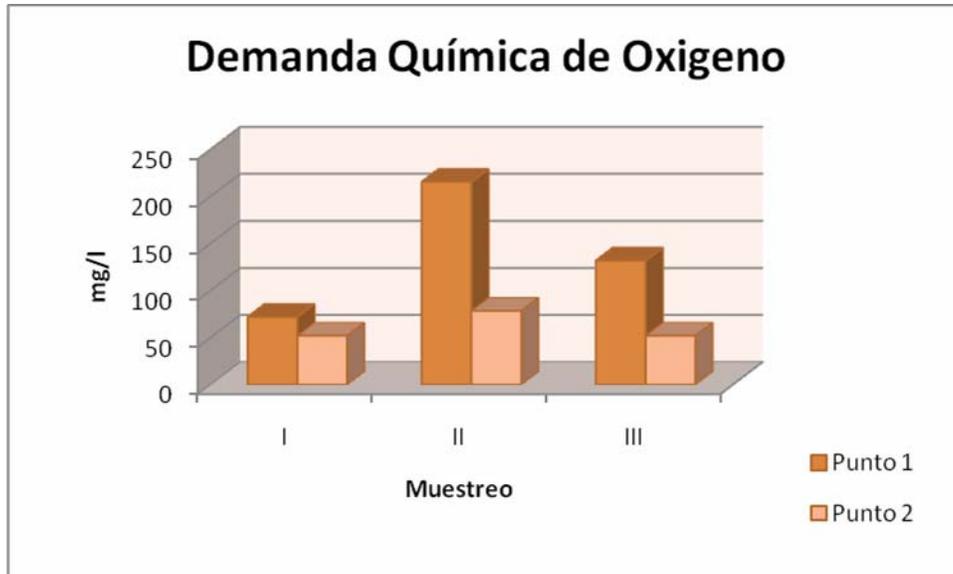


Figura 6-7 Comportamiento de la demanda química de oxígeno

En la figura 6-7 se observa que existe una tendencia definida en la reducción de los valores de la DQO, encontrándose concentraciones del efluente de 52, 78.4 y 52 mg/l con un promedio de 60.8 mg/l, lo cual indica que el sistema presenta cierta remoción de este contaminante y el efluente cumple con lo establecido en el decreto 33-95 arto. 23 (180 mg/l).

✓ Aceites y Grasas

La concentración de grasas y aceites en el afluente durante el muestreo fue muy variada reportando valores de 12.7, 28.4 y 18.2 mg/l dando como resultado un promedio de 19.77 mg/l. Estas cuantías indican que el agua doméstica tiene una baja concentración de grasas y aceites ya que es inferior a 50 mg/l (Metcalf & Eddy, 1998). En la Figura 6-8 se presenta el comportamiento de la concentración de grasas y aceites en los puntos muestreados.

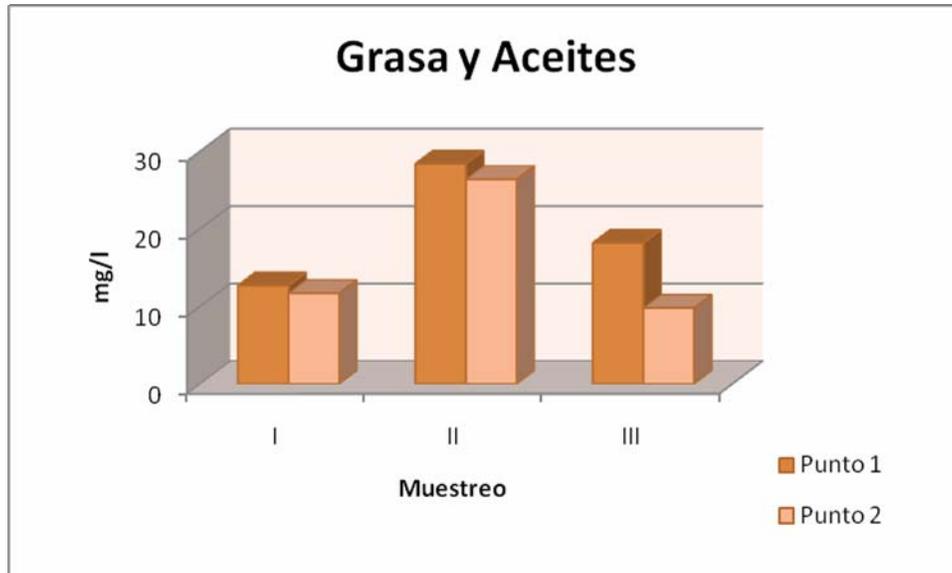


Figura 6-8 Comportamiento de las grasas y aceites

Sin embargo, en el efluente la concentración de aceites y grasas no cumple con lo establecido en el decreto 33-95 arto.23, reportándose valor promedio de 15.97 mg/l cuando la norma exige 10 mg/l.

✓ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

Las concentraciones reportadas en el afluente fueron de 0.38, 5.5 y 5.73 mg/l con un promedio de 3.87 mg/l. Cabe mencionar, que la concentración del afluente en el muestreo I es más bajo que los demás. Una de las causas de este hecho puede ser el caudal, que fue mayor con respecto a los otros días que se realizaron los muestreos. En la Figura 6-9 se presenta el comportamiento de las sustancias activas al azul de metileno.



Figura 6-9 Comportamiento de las sustancias activas al azul de metileno

En el efluente se encontraron concentraciones de 0.29, 4.3 y 5.06 mg/l con un promedio de 3.22 mg/l. En correspondencia al valor de este parámetro se evidencia que la planta no cumple con lo reglamentado en el decreto 33-95 arto 23, ya que este establece un límite máximo permisible de 3 mg/l.

Se calcularon las masas totales de los principales contaminantes, tanto físicos como químicos presentes en el efluente con el objetivo de determinar las cargas de los contaminantes que se desechan al medio ambiente.

Tabla 6-4 Cargas másicas de los contaminantes en el efluente final

Parámetro		Efluente* mg/l	mg/s	Kg/mes
Físicos	Sólidos Sedimentables	<0.1	0.01	0.01**
	Sólidos Suspendidos Totales	35.33	1.87	4.85
Químicos	DBO	28.00	1.48	3.84
	DQO	60.80	3.22	8.34
	Aceites y Grasas	15.97	0.84	2.19
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	3.22	0.17	0.44

*Promedio de las características de los tres muestreos

**Se calculo con base en 0.1 mg/l

***Se utilizo el promedio del caudal de los tres días de muestreo (0.053 l/s)

Como se puede observar en la tabla 6-4, las cargas másicas de contaminantes que Holcim genera son bajas, comparada con plantas de tratamiento de igual sistema (que desechan cargas de DBO entre 717.6 – 3987.84 kg/mes, DQO de 1684.8 – 11070.72 kg/mes y 366.6 – 2678.4 kg/mes de SS), estas bajas cargas

son producto de que el caudal del efluente es bajo, por lo tanto el impacto que tiene en el ambiente no es grave.

En resumen de los 7 parámetros establecidos en el decreto 33-95 artículo #23 de la legislación vigente aplicable a las descargas de aguas residuales domésticas tratadas a cuerpos receptores, el efluente de Holcim cumplió con 5 parámetros y incumpliendo con A&G y SAAM, excediendo estos en 59.7 y 7.33 % respectivamente el valor de la norma. Sin embargo, según datos históricos el sistema no ha cumplido además con DBO y DQO. En la Tabla 6-5 se presenta la comparación entre la legislación y el efluente del sistema bajo estudio.

Tabla 6-5 Comparación de la concentración del efluente con la norma

	Parámetro	Unidad	Efluente	Norma Artículo #23
Físicos	pH	Unidad	7.24	6-9
	Sólidos Sedimentables	mg/l	<0.1	1.00
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	35.33	80.00
Químicos	DBO	mg/l	28.00	90.00
	DQO	mg/l	60.80	180.00
	Aceites y Grasas	mg/l	15.97	10.00
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	3.22	3.00

Por lo antes descrito, según la norma el efluente Holcim (Nicaragua), S.A. es fuente de contaminación para el cuerpo receptor de destino.

6.3. Determinación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento

Con base en los resultados promedios de la caracterización físico-química del afluente y efluente y utilizando la Ecuación 1, se determinó la eficiencia porcentual de remoción de cada contaminante de la unidad de tratamiento. En la Tabla 6-6 se muestran los resultados de los porcentajes de remoción del sistema bajo estudio.

Tabla 6-6 Porcentajes de remoción de Tanque séptico - FAFA

Parámetro	Unidad	Afluente*	Efluente*	% Remoción
Sólidos Sedimentables	mg/l	0.69	<0.1	85.48
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	71.67	35.33	50.70
DBO	mg/l	66.00	28.00	57.58
DQO	mg/l	139.87	60.80	56.53
Aceites y Grasas	mg/l	19.77	15.97	19.22
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	3.87	3.22	16.88

*Promedio de los tres muestreos

La eficiencia del sistema de tratamiento se evaluó basándose en la remoción de los contaminantes analizados, en cuanto a:

1. **Sólidos Sedimentables:** Se obtuvo una remoción del 85.48%. Realizando comparación con sistemas de tratamiento similares existentes en el país, los cuales presentan un rango de eficiencia de 76.2 - 90.8% (Ver Tabla D-1); se puede afirmar que la unidad de tratamiento funciona eficientemente.
2. **Sólidos Suspendidos Totales:** Para este parámetro, el estudio determinó una eficiencia del sistema de 50.70%. Se puede decir que es este valor es bajo, ya que en comparación con los datos reportados en la literatura, la estación de Ginebra (Colombia), que tiene el mismo sistema de tratamiento, presenta una remoción del 80.57%.
3. **Demanda Biológica de Oxígeno:** El sistema de Holcim alcanzó un porcentaje de remoción de 57.58%(ver tabla 6-6), evidenciándose que la eficiencia de este sistema se encuentra por debajo de los sistemas similares instalados en el país, los cuales presentan valores entre 72.60 – 81.20% (ver tabla D-1). Este problema se puede atribuir a la baja eficiencia de remoción de aceites y grasas, ya que la presencia de estos compuestos interfieren en el desarrollo normal de la actividad biológica, evitando la formación de la bio-película. Por lo que se hace notar la falta de una etapa de pretratamiento para remover las grasas y aceites.
4. **Demanda Química de Oxígeno:** Se encontró que el sistema tiene una remoción de 56.53 %, siendo este valor más bajo que los reportados en la literatura (80-90%, Betancourt, 1987); y también comparando los sistemas similares actuales en el país, los cuales tienen eficiencias que van desde 70.80 a 74.50 % de reducción de la DQO (ver tabla D-1). Durante el estudio se revisó el tiempo de retención hidráulica y se logró constatar que éste es adecuado. Según los cálculos realizados, se encontró que la Fosa séptica presenta valores de 8.22 d para la primera cámara y 4.16 d para la segunda cámara. Cabe mencionar, que todos estos valores son superiores

a los reportados en la literatura como mínimos necesarios (ver detalles de cálculo en anexos C). A su vez, el FAFA retiene el agua por 14.8 h, lo cual es muy similar al valor recomendando en la literatura (la estación de ginebra en Colombia, TRH de 12 h). Por lo anteriormente dicho, el problema de baja remoción de la DQO, nuevamente se puede atribuir a la falta de remoción de aceites y grasas.

5. **Aceites y Grasas:** La remoción de este contaminante en el sistema fue baja, apenas se alcanzó el 19.22% de eficiencia, lo cual indica el mal funcionamiento de la planta para remover este contaminante. El problema puede deberse, a la falta de la unidad de remoción de aceites y grasas; además a la deficiencia en el diseño que posee la primera cámara del tanque séptico, ya que el nivel del tubo de la salida del agua de dicha cámara coincide con el nivel del agua (ver figura 6-10 y figura B-4). Esto puede estar provocando arrastre de los aceites y grasas que logran acumularse en el tanque séptico. Como consecuencia, las grasas y aceites llegan hasta el FAFA donde no se logra la degradación del contaminante debido a su naturaleza química, afectando también la remoción de los otros parámetros, ya que las grasas provocan una capa impermeable en el lecho, impidiendo la formación tanto de la misma capa bacteriana, como la degradación normal de la materia orgánica carbonacea.



Figura 6-10 Salida del agua en la cámara 1

6. **Sustancias Activas al Azul de Metileno:** La remoción de este grupo de contaminantes fue de 16.88%. El bajo porcentaje es debido al mal diseño que presenta el tanque séptico, el cual permite que contaminantes sean arrastrados al efluente. Por otro lado, cabe mencionar que el sistema bajo

estudio no está diseñado para la remoción de estos contaminantes, en su mayor parte alquilbenceno sulfonato (ABS).

6.4. Propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Una vez concluida la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, se elaboraron las siguientes propuestas que contribuyen al mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento, para evitar posibles riesgos de contaminación al medio ambiente.

1. Instalar una trampa de grasa. Aprovechando las condiciones de la distribución de aguas residuales se sugiere ubicarla a la salida de la cocina y no permitir el ingreso de agua residual proveniente de los servicios higiénicos.

Acorde al cálculo realizado con base en el manual; guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales de ENACAL, las dimensiones de la trampa de grasa serán: Ancho: 0.4m, Largo: 0.6m y profundidad: 0.9m, como se presentan en las figuras 6-11 y 6-12. Los detalles del cálculo para el pre diseño de la trampa de grasa se pueden apreciar en el anexo C.

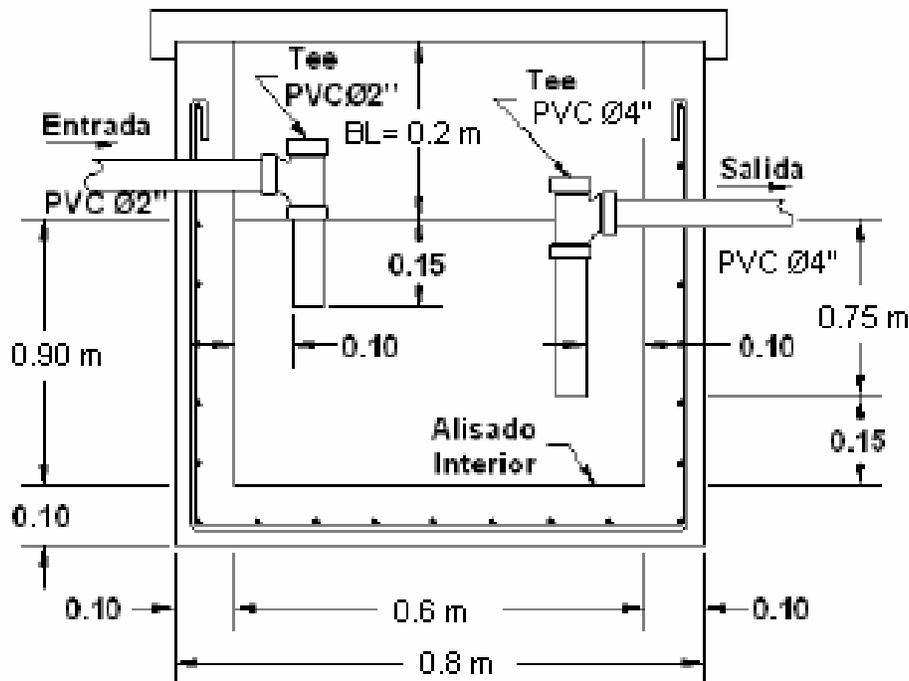


Figura 6-11 Elevación de la trampa de grasa

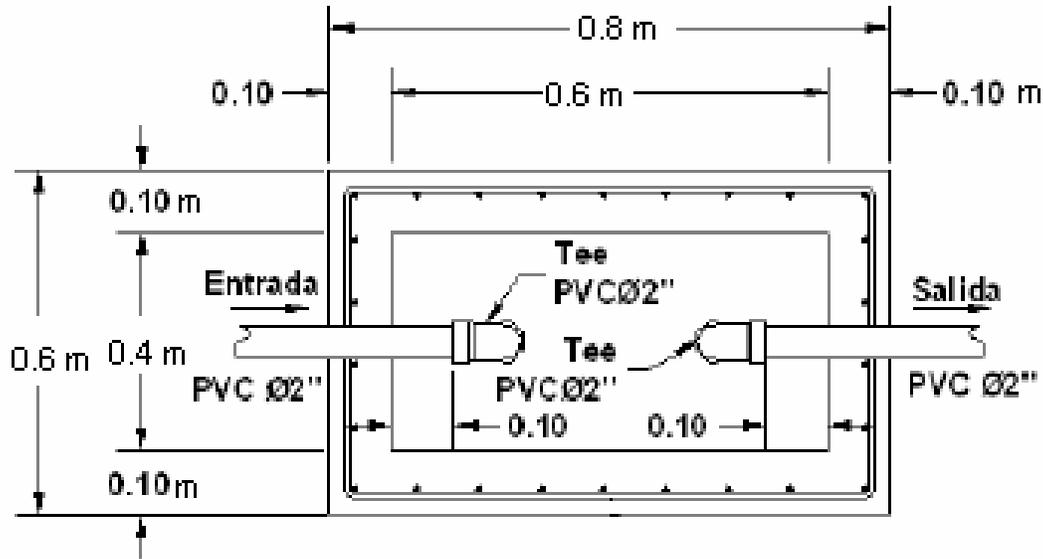


Figura 6-12 Vista de planta de la trampa de grasa

2. Modificar la salida del efluente de la cámara 1 del tanque séptico colocando un tubo en T con prolongaciones de 0.2 m para garantizar que el agua a evacuar proceda desde la parte baja de la capa del líquido, pero arriba de la zona de almacenamiento, evitando de esta forma el arrastre de las grasas y aceite a la siguiente etapa de tratamiento.
3. Limpiar el tanque séptico inmediatamente después de la instalación de la trampa de grasa, ya que la presencia de las grasas por encima de determinados niveles conduce a que puedan ser arrastrados a través del dispositivo de salida.
4. Limpiar y/o reemplazar (si fuera el caso) el medio filtrante del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente después de la instalación de la trampa de grasa ya que, debido al exceso de grasa y aceite que ha llegado a la unidad, es posible que esté formada una capa impermeable que dificulta que las bacterias puedan degradar la materia orgánica.
5. Sustituir los detergentes actuales por detergentes biodegradables y además, procurar un uso racional de éste.

7. CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del comedor de transportistas de Holcim (Nicaragua), S.A. se concluye:

El caudal promedio del efluente es 4.739 m³/día con un factor pico de 1.52 y un factor mínimo de 0.7. Con la medición del caudal se calcularon los flujos hidráulicos y el tiempo de retención que presentan las unidades de la planta, encontrándose que la hidráulica de la planta cumple con las exigencias de ENACAL.

La caracterización físico-química de las aguas residuales domésticas tratadas indican que el efluente de Holcim cumple con lo establecido en la legislación vigente del país exceptuando sustancias activas al azul de metileno y grasas y aceites excediéndose estos en 7.33 % y 59.7% sobre los límites máximos admisibles. Sin embargo, este cumplimiento se debe a que el afluente de la planta de tratamiento es de baja carga, según clasificación internacional existente.

La carga másica de contaminantes que Holcim desecha al ambiente es baja: 8.34 kg / mes de DQO y 4.85 kg / mes de SST, siendo estos muy inferior a la de las plantas de tratamiento similares existentes en el país.

La eficiencia de la planta de tratamiento es baja, encontrándose valores de 57.58% de DBO, 56.53% de DQO, 19.22% de A&G y 16.88% de SAAM.

Las causas de la baja eficiencia de la planta fueron analizadas. Se encontraron 2 principales razones del bajo rendimiento en el tratamiento: falta de la unidad de desengrase y deficiencia del diseño en el tanque séptico.

Se determinó que el nivel de la descarga del efluente en la cámara uno del tanque séptico, se encuentra muy próximo a la nata formada en la superficie de la unidad, provocando esto serios problemas como lo es el arrastre de grasas y aceites a las siguientes unidades.

Ante los hallazgos encontrados se propuso el diseño de una trampa de grasa, mejoramiento del diseño del tanque séptico y el uso de detergentes biodegradables para garantizar que todos los parámetros de calidad del agua doméstica cumplan con la legislación ambiental, contribuyendo de esta manera a la mejora continua en pro del medio ambiente.

8. RECOMENDACIONES

Para el aseguramiento de la calidad del efluente del sistema de tratamiento de agua se sugieren las siguientes recomendaciones:

1) Realizar una evaluación de la planta después de haber implementado las propuestas de este trabajo.

2) Seguir las siguientes reglas para un buen funcionamiento y uso del sistema de tratamiento:

✓ Trampa de grasa

- La trampa de grasa se limpiará cada quince día o mensualmente y consistirá en el retiro del material flotante. La limpieza deberá efectuarse durante las primeras horas de la mañana, cuando la temperatura del aire y del agua residual alcanza sus valores más bajo, lo cual facilita el retiro del material graso.
- Por ningún motivo deberá emplearse agua caliente para licuar la grasa y facilitar el drenaje hacia el tanque séptico. Esta operación conduce a que al enfriarse y solidificarse el material graso se adherirá a las paredes de la tubería, afectando su capacidad de conducción o incrementando la capa de espuma al interior del tanque séptico.

✓ Fosa Séptica

- La Fosa séptica deberá de inspeccionarse cada seis meses.
- Al abrir el registro del tanque séptico para efectuar la inspección o la limpieza, se deberá tener cuidado de dejar transcurrir un tiempo, hasta tener la seguridad que el tanque se haya ventilado lo suficiente; porque los gases que en él se acumulan pueden causar asfixias o ser explosivos al mezclarse con el aire. Por ello nunca debe encenderse fósforo o cigarrillo cuando se apertura el tanque séptico.
- Este ha de limpiarse, cuando el fondo de la capa de nata se encuentre a unos ocho centímetro por encima de la parte más baja del dispositivo de salida o cuando la capa de lodos se encuentre a 0.3m por debajo del dispositivo de salida (Organización panamericana de la salud, 2005).
- Una vez retirado el lodo, el tanque séptico no debe ser lavado o desinfectado, más bien se debe dejar una pequeña cantidad de lodo como inculo para facilitar el proceso de hidrólisis de las nuevas aguas residuales que han de ser tratadas.

- Para determinar el espesor de lodo y la profundidad del líquido, se empleará un listón de madera, en cuyo extremo tenga enrollado una tela (la cual se fabrica de las toallas). Esta tela deberá de cubrir aproximadamente una longitud de 0.8m, este dispositivo se hace descender hasta el fondo del tanque y se mantendrá por un minuto, se le retira cuidadosamente y las partículas de lodo quedaran adheridas sobre el enrollado de felpa, permitiendo determinar el espesor de la capa de lodos.
 - Este mismo dispositivo puede ser empleado para determinar el espesor de la nata, para medir dicho espesor el listón de madera se fuerza a través de la capa de nata, al levantar el listón suavemente, se podrá determinar por la resistencia natural que ofrece la nata, el espesor de la misma.
- ✓ Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
- Garantizar un buen pretratamiento de agua residual para evitar el atascamiento de esta unidad.

9. GLOSARIO

Afluente: Agua residual u otro liquido que ingresa a un reservorio o unidad de tratamiento o proceso.

Agua residuales domesticas tratadas: Se refieren a las que han sido sometidas a una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos mediante los sólidos que el liquido contiene son separados parcialmente y el resto de los sólidos orgánicos complejos putrescibles son convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables, ino cuos al ser humano; así también se realiza la reducción de microorganismos patógenos.

Agua residuales: Son aquellas procedentes de actividades domesticas comerciales, industriales y agropecuarias que presentan características físicas, químicas o biológicas que causen daño ala calidad del agua, suelo, biota y la salud humana.

Aireación: Proceso de transferencia de oxigeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Anaeróbico: Proceso bioquímico que no requiere oxigeno libre.

Anaerobio estricto: Organismo que no puede vivir en presencia de oxigeno, se le denomina anaerobio obligado.

Anaerobio facultativo: Organismo que soporta pequeñas cantidades de oxigeno, se le denomina aerobio discrecional.

Bacterias: Pequeños microorganismos unicelulares, que se producen por la fisión de esporas.

Biodegradación: Proceso de descomposición de sustancias orgánicas por medio de micro-organismos en sustancias mas simples como bióxido de carbono, agua y amoniaco que pueden ser incorporados a los ciclos biológicos de materiales en los sistemas ecológicos.

Biopelículas: Población de varios microorganismos, contenidos en una capa de productos de extracción, unida a una superficie.

Carga: Al producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinado en el mismo sitio; se expresa en Kilogramos por día (Kg. / día).

Caudal promedio: Es el valor promedio estadístico de la cantidad de agua que pasa por un punto dado en un periodo de tiempo estimado como punto del estudio

Caudal: Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal de un cuerpo de agua en una unidad de tiempo.

Coliformes Fecal: Los microorganismos que tiene las mismas propiedades, de los coliformes totales, a una temperatura de 44 ó 44.5°C. También se les designa Coliformes Termoresistentes o Termotolerantes.

Coliforme Total: Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento, no tienen citocromato oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 ó 37°C, en un período de 24 a 48 horas.

Cuerpo Receptor: Es parte del medio ambiente en el cual pueden ser vertidos directa o indirectamente cualquier tipo de efluentes tratados o no tratados provenientes de actividades contaminantes o potencialmente contaminantes, tales como: cursos de aguas, drenajes naturales, lagos, lagunas, ríos, embalses y el océano.

Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno disuelta en el agua y utilizada por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO): Medida de capacidad de consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el agua o agua residual se expresa como la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química.

Efluente: La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua. Este es el agua producto dada por el sistema.

Fisión: Reproducción de microorganismos por división celular.

Hidrófilo: Que tiene afinidad por el agua.

Limite Máximo Permisible Promedio Diario: Se entenderá por limite máximo permisible promedio diario, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de las descargas domesticas e industriales.

Tensioactivos: Son sustancias sintéticas que se añaden a los detergentes de la ropa. Son productos difícilmente biodegradables, responsables de buena parte del exceso de espuma que puede verse en muchos ríos y cursos de agua.

Tiempo de contacto: La longitud de tiempo que una sustancia está en contacto con un líquido, antes de ser eliminada por filtración o por la presencia de un cambio químico.

Tiempo de Retención Hidráulica: Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

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

Tratamiento Biológico: Proceso de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

10. NOMENCLATURA

Símbolo	Significado	Unidades
A_{sf}	Área superficial del filtro	m^2
A_T	Área del tanque	m^2
B_f	Ancho del filtro	m
B_T	Ancho del tanque	m
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l
DQO	Demanda Biológica de oxígeno	mg/l
E	Eficiencia	%
FM	Factor mínimo	-
FP	Factor pico	-
H_{fg}	Altura de la fase gaseosa o altura del borde libre	m
H_{mp}	Altura del medio poroso	m
H_T	Altura Total	m
H_{Tf}	Altura total del filtro	m
H_{Tg}	Altura para el transporte de los gases	m
H_{uf}	Altura útil del filtro	m
H_{ut}	Altura útil del tanque	m
L_f	Largo del filtro	m
L_T	Longitud del tanque	m
Q	Caudal	m^3/d
S	desviación estándar muestral	m^3/d
SS	Sólidos Sedimentables	mg/l

SST	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l
TRH:	Tiempo de Retención Hidráulica	d
V_{Lf}	Volumen del liquido en el filtro	m^3
V_{LT}	Volumen útil destinado para almacenamiento de lodos	m^3
V_{mp}	Volumen del medio poroso	m^3
V_{Rf}	Volumen real del filtro	m^3
V_{rT}	Volumen real del tanque	m^3
V_{uf}	Volumen útil del filtro	m^3
V_{ut}	Volumen útil del tanque	m^3
V_{ut}	Volumen útil del tanque	m^3

11. BIBLIOGRAFÍA

Aivasidis, Alexander (2005). "Biochemical Reaction Engineering and Process Development in Anaerobic Wastewater Treatment".

B.R. Whelan & Z. V Titamnis (1981). "Daily Chemical Variabilidad of Domestic Septic Tank Effluent".

Blandón Benavides, Adalinda & Garay Regidor, Martha Clorinda (1997). "Arranque y estabilización de un FAFA para el tratamiento de Aguas Residuales Domesticas". Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero Químico CIEMA-UNI.

Crites Tchobanoglous (2000). "Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones". Mc. Graw Hill.

Cucarella Cabañas Victor (2007). "Phosphorus recycling from wastewater to agriculture using reactive filter media".

Departamento de sanidad del estado de New York (2006) "Manual de tratamiento de aguas negras" LIMUSA.

Díaz Betancourt Raúl (1987). "Tratamiento de aguas y aguas residuales". Editorial ISPJAE La Habana, Cuba.

Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuarias. Decreto No 33-95. Obtenido de www.marena.gob.ni.

Droste Ronald L. (1997). "Theory and practice of water and wastewater treatment". John Wiley & Sons.

Fair. Geyer & Okun (1990) "Tratamiento de agua y remoción de aguas residuales". V.1, LIMUSA.

Flores Raúl Calixto & Herrera Reyes Lucila (2008). "Ecología y medio ambiente". Segunda edición, Cengage Learning Editores.

Fraume Restrepo Néstor Julio (2007) "Diccionario Ambiental" Editorial ECOE Ediciones.

Gorbitt Robert A. (1990). " Standard Handbook of Enviromental Engineering". McGraw Hill.

Gordon Maskew Fair (1993) "Purificación de agua y tratamiento y remoción de agua residual". V.2, LIMUSA.

Gröndahl, Fredrik (2008). "Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations". Editor Royal Institute of Technology.

Han-Qing Yu (2006). "Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory-scale multi- and single-fed filters at ambient temperatures". Editores University of Science & Technology of China.

Hardoy Jorge E. (1992). " Environmental problems in third world cities". Earthscan Publications Ltd.

Heinke Henry (1999) " Ingenieria Ambiental". PEARSON.

Herdová Bronislava (2002). "The use of up flow anaerobic filter and AnSBR for wastewater treatment at ambient temperature".

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (2006). "Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales".

Kiely Gerard (1999). "Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión". McGraw Hill.

Kupchella Charles E. (1989). "Enviromental Science, Living within the system of nature". Allyn and Bacon.

Manahan, Stanley E.(2007), "Introducción a la química ambiental". Editorial REVERTÉ.

Mbuligwe Stephen E. (2003). "Applicability of a septic tank/Engineered wetland coupled system in the treatment and recycling of wastewater from a small community". Editor University College of Lands and Architectural Studies.

Metcalf & Eddy (1981). "Tratamiento y depuración de las aguas residuales" LABOR, S.A.

Metcalf & Eddy (1996). "Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización" Volumen I, III Edición.

Michael A. Winkler (1998) "Tratamiento biológico de aguas de desecho" LIMUSA.

Mihelcic James R. (2001). "Fundamentos de ingeniera ambiental". LIMUSA WILEY.

Navidi, William (2006) "Estadística para ingenieros y científicos" McGraw Hill.

Opazo Unda (1998). "Ingeniería Sanitaria Aplicada a saneamiento y salud pública" LIMUSA.

Opoku Benjamin (2007). "Suitability of different reactive filter media for onsite wastewater treatment".

Organización panamericana de la salud (2005). "Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanque imhoff y lagunas de estabilización".

Organización panamericana de la salud (2003). "Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos".

Organización panamericana de la salud (2005). "Tanques sépticos" .

Paruch, Adam (2009). "Possible scenarios of environmental transport, occurrence and fate of helminth eggs in light weight aggregate wastewater treatment systems". Editor Rev Environ Sci Biotechnology.

Pramanik Ashrafuzzaman (2007). "Provision for sanitation in low income urban areas: a case study on Dhaka, Bangladesh". Editor Stockholm.

Puñal. A & Méndez - Pampín, R.J (1999). "Characterization and comparison of biomasses from single- and multi-fed up flow anaerobic filters".

R. S Ramalho. "Tratamiento de Aguas Residuales", Reverte, S.A.

Rajinikanth, R (2009). "High rate anaerobic filter with floating supports for the treatment of effluents from small-scale agro-food industries". Editor Thanikal, JV Ramón.

Ramos Olmos Raudal (2003). "El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis". Editor Plaza Valdés. Primera edición.

Renman Agnieszka (2008). "On-site wastewater treatment – Polonite and other filter materials for removal of metals, nitrogen and phosphorus". Editor Royal Institute of Technology.

Rodríguez Hildefonzo (2010) "Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones" Editor Lulu.com.

Romero Rojas, Jairo Alberto (1999) "Tratamiento de Aguas Residuales, teoría y principios de diseño". Editorial Escuela Colombiana de ingeniería.

Russell, David L. (2006). "Practical Wastewater Treatment. PE". John Wiley & Sons, Inc.

Sans Fonfria & Joan do pablo Ribas (1999) "Ingeniería ambiental contaminación y tratamiento" LIMUSA.

Seoáñez Calvo, Mariano (1999) "Aguas residuales urbanas tratamiento natural de bajo costo y aprovechamiento". II edición. Mundi-Prensa.

Seoáñez calvo, Mariano (2004) "Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo". Ediciones Mundi-Prensa.

Shun Dar Lin. (2007) "Waster and Wastewater Calculations Manual", Segunda edición. McGraw-Hill Companies.

Silva Vinasco Juan Pablo "Estación de investigación y transferencia de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales domesticas y reuso de efluentes y subproductos de Ginebra (Colombia). Universidad del Valle.

Standard Methods for the examination of water and wastewater. (1998). 20th Edition. American Public Health Association /American Water Works Association/ Water Environmental Federation, Washington DC, USA.

Sven-Olof (1992). " Environmental Management Handbook". Lewis.

Tsalakanidou Joanna (2006). "Potential of reactive filter materials for small-scale wastewater treatment in Greece". Editor KTH.

Yuceer A & Sucu MY & Yuceer NS (2006) "Application of anaerobic filter reactors to wastewater treatment of seasonal settlements in Mediterranean coast of Turkey" Editores Ubertini.

Yuceer, A (2006) "Application of anaerobic filter reactors to wastewater treatment of seasonal settlements in Mediterranean coast of Turkey". Editor Sucu, MY & Yuceer, NS.

12. ANEXOS

ANEXO A

Plano hidro-sanitario sector comercial Holcim (Nicaragua), S.A.

ELEVACION DE FILTRO ANAEROBICO SECCION C-C

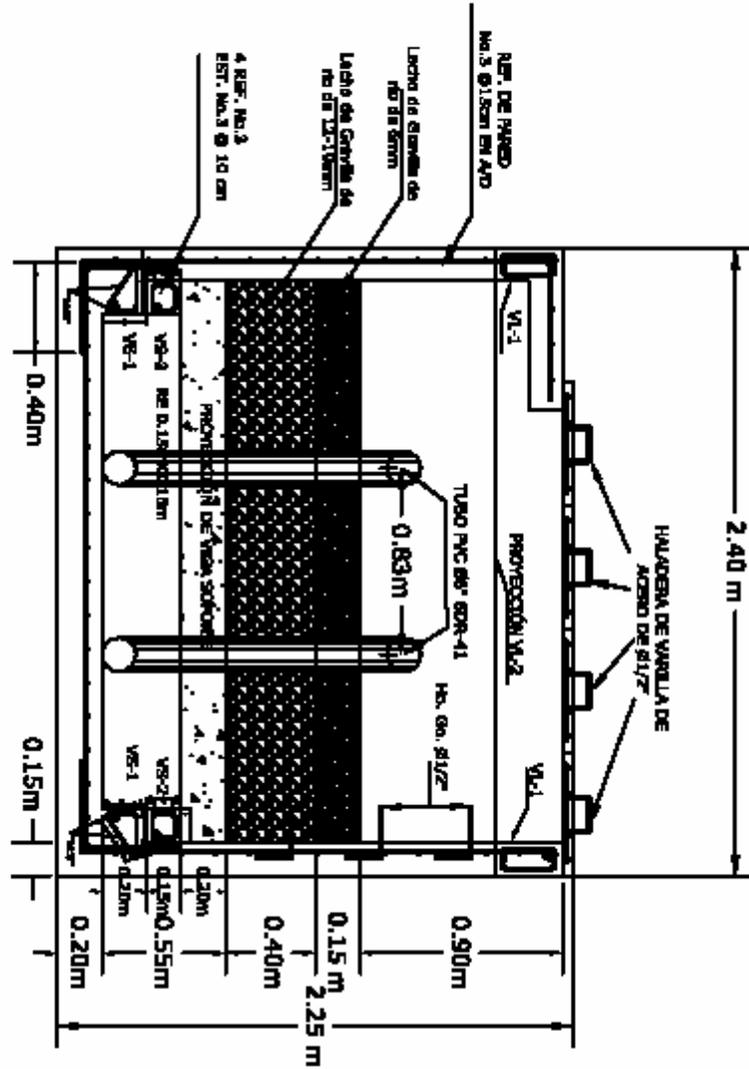


Figura A-3 Elevación del filtro anaerobio
Fuente: Holcim (Nicaragua), S.A

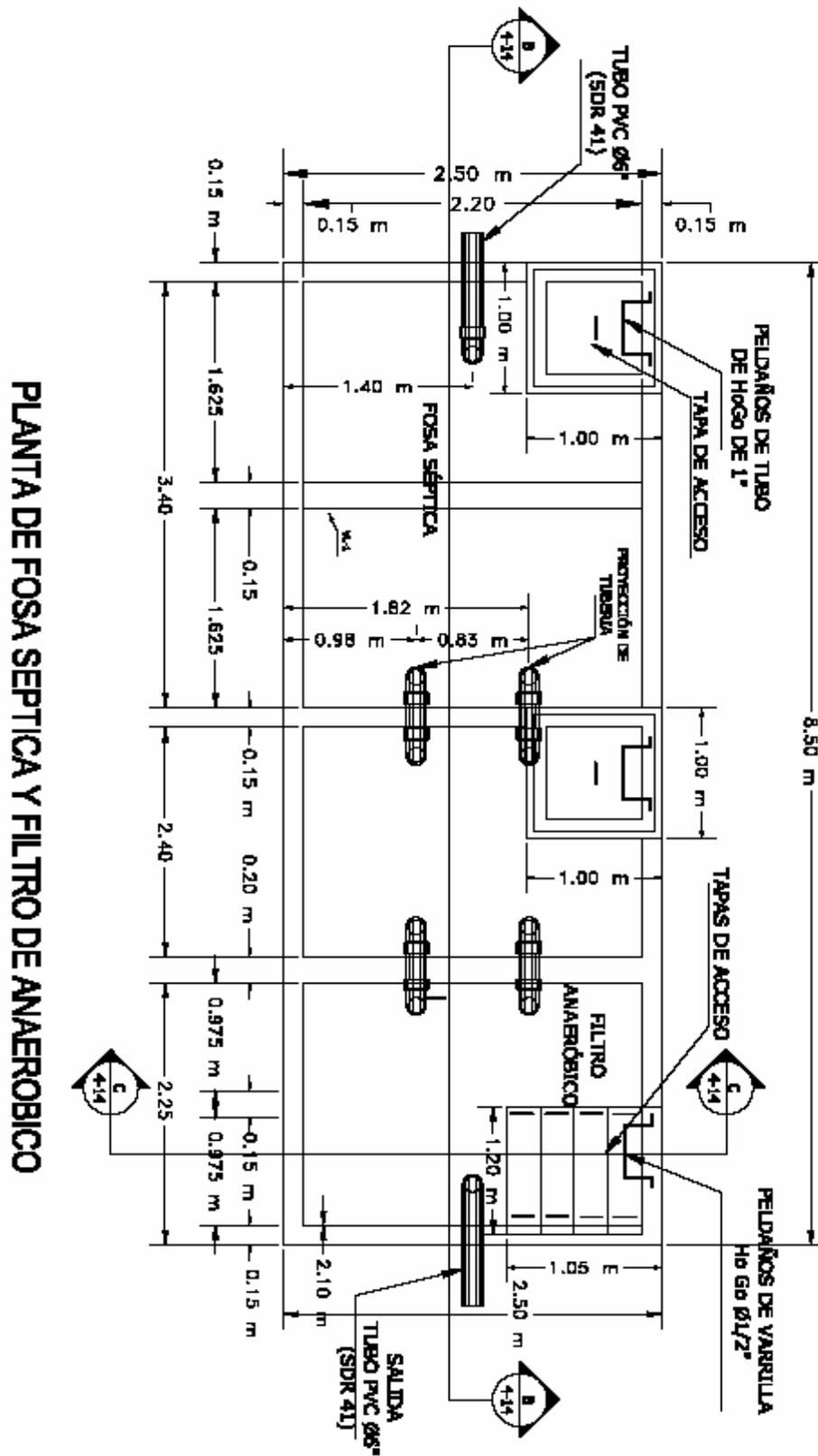


Figura A-4 Planta de fosa séptica y filtro anaerobio
Fuente: Holcim (Nicaragua), S.A

ANEXO B

Resultados de la caracterización físico- química y determinación del caudal residual

Caracterización físico-química

Tabla B-1 Caracterización físico-química del muestreo I

Marzo 18, 2010		
Parámetros	Afluyente	Efluyente
pH	6.72	7.24
Temp. (°C)	30.16	29.79
SS (mg/l)	1.26	<0.1
SST (mg/l)	80	40
DBO (mg/l)	30	24
DQO (mg/l)	72	52
Grasas (mg/l)	12.7	11.7
SAAM (mg/l)	0.38	0.29

Tabla B-2 Caracterización físico-química del muestreo II

Abril 12, 2010		
Parámetros	Afluyente	Efluyente
pH	6.70	7.14
Temp. (°C)	30.41	30.47
SS (mg/l)	0.44	<0.1
SST (mg/l)	25	23
DBO (mg/l)	105	35
DQO (mg/l)	215.6	78.4
Grasas (mg/l)	28.4	26.4
SAAM (mg/l)	5.5	4.3

Tabla B-3 Caracterización físico-química del muestreo III

Abril 14, 2010		
Parámetros	Afluyente	Efluyente
pH	6.75	7.34
Temp. (°C)	30.33	30.83
SS (mg/l)	0.37	<0.1
SST (mg/l)	110	43
DBO (mg/l)	63	25
DQO (mg/l)	132	52
Grasas (mg/l)	18.2	9.8
SAAM (mg/l)	5.73	5.06

Resultados horarios del afluente

✓ pH

Tabla B-4 Valores de pH en el afluente durante los muestreos

Hora	<i>Muestreo</i>			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	6.7	6.53	6.91	6.71
07:00	6.63	6.54	6.86	6.68
08:00	6.58	6.7	6.36	6.55
09:00	6.86	6.53	6.58	6.66
10:00	6.8	6.65	6.61	6.69
11:00	6.68	6.82	6.68	6.73
12:00	6.82	6.77	6.94	6.84
13:00	6.58	6.76	6.84	6.73
14:00	6.66	6.84	6.82	6.77
15:00	6.98	6.79	6.63	6.80
16:00	6.69	6.78	6.83	6.77
17:00	6.63	6.71	6.93	6.76
Promedio	6.72	6.70	6.75	

✓ Temperatura

Tabla B-5 Valores de temperatura en el afluente durante los muestreos

Hora	<i>Muestreo</i>			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	28	29.8	28.8	28.87
07:00	29	29.8	29	29.27
08:00	29.6	29.9	30.4	29.97
09:00	30.5	30	30.1	30.20
10:00	31	30.9	30.8	30.90
11:00	31	31	31	31.00
12:00	31	31.2	31	31.07
13:00	30.5	30.8	31	30.77
14:00	30.8	30.8	30.8	30.80
15:00	30	30.5	30.9	30.47
16:00	30.5	30.2	30	30.23
17:00	30	30	30.1	30.03
Promedio	30.16	30.41	30.33	

✓ Sólidos sedimentables

Tabla B-6 Valores de los sólidos sedimentables en el afluente durante los muestreos

Hora	Muestreo			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	0.4	2	0.2	0.87
07:00	0.1	0.8	1.2	0.70
08:00	0.8	0.8	2	1.20
09:00	0.2	0.7	0.1	0.33
10:00	0	0.3	0.15	0.15
11:00	5	0.1	0.1	1.73
12:00	0.2	0.1	0.1	0.13
13:00	1.5	0.1	0.1	0.57
14:00	0.1	0.1	0.1	0.10
15:00	3	0.1	0.15	1.08
16:00	3.5	0.1	0.1	1.23
17:00	0.3	0.1	0.1	0.17
Promedio	1.26	0.44	0.37	

Resultados horarios del efluente

✓ pH

Tabla B-7 Valores de pH en el efluente durante los muestreos

Hora	Muestreo			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	7.12	6.95	7.28	7.12
07:00	7.22	7.09	7.35	7.22
08:00	7.16	7.01	7.32	7.16
09:00	7.26	7.12	7.33	7.24
10:00	7.21	7.1	7.26	7.19
11:00	7.25	7.14	7.31	7.23
12:00	7.42	7.25	7.3	7.32
13:00	7.26	7.15	7.23	7.21
14:00	7.27	7.28	7.33	7.29
15:00	7.24	7.15	7.53	7.31
16:00	7.27	7.24	7.51	7.34
17:00	7.2	7.16	7.35	7.24
Promedio	7.24	7.14	7.34	

✓ Temperatura

Tabla B-8 Valores de temperatura en el efluente durante los muestreos

Hora	<i>Muestreo</i>			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	28.5	30	29.8	29.43
07:00	29.5	30	29.9	29.80
08:00	30	30.2	30	30.07
09:00	30	30	30.2	30.07
10:00	30	30.9	31	30.63
11:00	30	31	31.2	30.73
12:00	30	30.9	31.2	30.70
13:00	30	30.2	31.5	30.57
14:00	30	30.9	31.6	30.83
15:00	30	30.8	31.4	30.73
16:00	30	30.5	31.2	30.57
17:00	29.5	30.2	31	30.23
Promedio	29.79	30.47	30.83	

✓ Sólidos Sedimentables

Tabla B-9 Valores de sólidos sedimentables en el efluente durante los muestreos

Hora	<i>Muestreo</i>			Promedio
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	
06:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
07:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
08:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
09:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
10:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
11:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
12:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
13:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
14:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
15:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
16:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
17:00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Promedio	<0.1	<0.1	<0.1	

Tabla B-10 Resultados del análisis físico-químico del afluente

Parámetro	Unidad	Descripción			Promedio	
		Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III		
Físicos	pH	Unidad	6.72	6.70	6.75	6.72
	Temperatura	°C	30.16	30.41	30.33	30.30
	Sólidos Sedimentables	mg/l	1.26	0.44	0.37	0.69
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	80	25	110	71.67
Químicos	DBO	mg/l	30	105	63	66.00
	DQO	mg/l	72	215.6	132	139.87
	Aceites y Grasas	mg/l	12.7	28.4	18.2	19.77
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	0.38	5.5	5.73	3.87

Tabla B-11 Resultados del análisis físico-químico del efluente

Parámetro	Unidad	Descripción			Promedio	
		Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III		
Físicos	pH	Unidad	7.24	7.14	7.34	7.24
	Temperatura	°C	29.79	30.47	30.83	30.36
	Sólidos Sedimentables	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	40	23	43	35.33
Químicos	DBO	mg/l	24	35	25	28.00
	DQO	mg/l	52	78.4	52	60.80
	Aceites y Grasas	mg/l	11.7	26.4	9.8	15.97
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	0.29	4.3	5.06	3.22

Tablas B-12 Comparación de las características físico-químicas del afluente y efluente

Muestreo	I		II		III	
pH	6.72	7.24	6.70	7.14	6.75	7.34
Temperatura °C	30.16	29.79	30.41	30.47	30.33	30.83
SS (mg/l)	1.26	<0.1	0.44	<0.1	0.37	<0.1
SST (mg/l)	80	40	25	23	110	43
DBO (mg/l)	30	24	105	35	63	25
DQO (mg/l)	72	52	215.6	78.4	132	52
A&G (mg/l)	12.7	11.7	28.4	26.4	18.2	9.8
SAAM (mg/l)	0.38	0.29	5.5	4.3	5.73	5.06

Monitoreo del caudal durante los muestreos

Tabla B-13 Monitoreo del caudal durante los muestreos

Hora	Muestreos realizados durante la caracterización fisicoquímica			Muestreos						Promedio (l/s)	Promedio (m ³ /d)
	Muestreo I	Muestreo II	Muestreo III	Muestreo IV	Muestreo V	Muestreo VI	Muestreo VII	Muestreo VIII	Muestreo IX		
06:00	0.14	0.02	0.16	0.01	0.03	0.02	0.04	0.09	0.02	0.059	5.09
07:00	0.12	0.01	0.10	0.01	0.02	0.02	0.01	0.08	0.02	0.044	3.83
08:00	0.16	0.02	0.08	0.06	0.02	0.02	0.01	0.10	0.03	0.055	4.79
09:00	0.16	0.07	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.29	0.06	0.083	7.21
10:00	0.05	0.03	0.06	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05	0.045	3.86
11:00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.13	0.08	0.02	0.04	0.055	4.74
12:00	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	0.03	0.08	0.038	3.31
13:00	0.05	0.03	0.03	0.09	0.04	0.04	0.03	0.01	0.05	0.041	3.55
14:00	0.05	0.02	0.04	0.07	0.06	0.10	0.04	0.01	0.03	0.047	4.03
15:00	0.04	0.05	0.04	0.04	0.07	0.15	0.05	0.02	0.06	0.058	5.00
16:00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.15	0.24	0.03	0.04	0.072	6.19
17:00	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.19	0.15	0.01	0.04	0.060	5.22
Caudal	0.076	0.033	0.059	0.042	0.038	0.077	0.065	0.062	0.042	0.055	4.739

ANEXO C

Cálculos del capítulo presentación y discusión de resultado

Análisis estadísticos de los datos del caudal

Tabla C-1 Análisis estadístico del caudal

Muestreo	Caudal residual (m ³ /día)	Xi-X	(Xi-X) ²
Muestreo I	6.567	1.828	3.34081
Muestreo II	2.834	-1.905	3.62962
Muestreo III	5.062	0.322	0.10391
Muestreo IV	3.651	-1.088	1.18409
Muestreo V	3.264	-1.475	2.17613
Muestreo VI	6.651	1.911	3.65339
Muestreo VII	5.608	0.869	0.75479
Muestreo VIII	5.371	0.632	0.39881
Muestreo IX	3.646	-1.093	1.19540
Σ	42.655	0.000	16.43694

✓ Media muestral

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\bar{X} = (1/9) * 42.655 = 4.739421 \text{ m}^3/\text{día}$$

✓ Desviación estándar muestral

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$s = ((1/(9-1)) * 16.44)^{1/2}$$

$$s = 1.433 \text{ m}^3/\text{día}$$

✓ Rango

$$\text{Rango} = 6.651 - 2.834 = 3.817 \text{ m}^3/\text{día}$$

✓ Mediana

Ordenando los valores del más pequeño al más grande

Caudal residual

(m³/d)

2.83
3.26
3.65
3.65
5.06
5.37
5.61
6.57
6.65

La mediana muestral es el numero de en medio, que es 5.062 m³/día

Factor pico del caudal

Factor pico, FP= Caudal máximo promedio / Caudal promedio

$$FP= 7.214369 \text{ m}^3/\text{d} / 4.739421 \text{ m}^3/\text{d} =1.52$$

Factor mínimo del caudal

Factor mínimo, FM= Caudal mínimo promedio / Caudal promedio

$$FM= 3.312023 \text{ m}^3/\text{d} / 4.739421 \text{ m}^3/\text{d} =0.7$$

Determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento

- ✓ Contaminantes Físicos
 - Sólidos Sedimentables

$$E = ((0.69-0.1) / 0.69) *100$$
$$E =85.48 \%$$

- Sólidos Suspendidos Totales

$$E = ((71.67-35.33) / 71.67) *100$$
$$E =50.70 \%$$

✓ Contaminantes Químicos

- Demanda Bioquímica de Oxigeno

$$E = ((66-28) / 66) * 100$$

$$E = 57.58 \%$$

- Demanda Química de Oxigeno

$$E = ((139.87-60.8) / 139.87) * 100$$

$$E = 56.53 \%$$

- Aceites & Grasas

$$E = ((19.77-15.97) / 19.77) * 100$$

$$E = 19.22 \%$$

- Sustancias Activas al Azul de Metileno

$$E = ((3.87-3.22) / 3.87) * 100$$

$$E = 16.88 \%$$

Calculo de la masa de contaminantes presentes en el efluente final

✓ Contaminantes Físicos

- Sólidos Sedimentables

$$SS = [SS] * Q$$

$$SS = (0.1 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$SS = 0.0053 \text{ mg/s}$$

$$SS = (0.0053 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g/1000mg}) * (1 \text{ kg/1000g})$$

$$SS = 0.01 \text{ Kg/mes}$$

- Sólidos Suspendidos Totales

$$SST = [SST] * Q$$

$$SST = (35.33 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$SST = 1.87 \text{ mg/s}$$

$$SST = (1.87 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g/1000mg}) * (1 \text{ kg/1000g})$$

$$SST = 4.85 \text{ Kg/mes}$$

✓ Contaminantes Químicos

○ Demanda Bioquímica de Oxigeno

$$\text{DBO} = [\text{DBO}] * Q$$

$$\text{DBO} = (28 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$\text{DBO} = 1.48 \text{ mg/s}$$

$$\text{DBO} = (1.48 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g}/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

$$\text{DBO} = 3.84 \text{ Kg/mes}$$

○ Demanda Química de Oxigeno

$$\text{DQO} = [\text{DQO}] * Q$$

$$\text{DQO} = (60.8 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$\text{DQO} = 3.22 \text{ mg/s}$$

$$\text{DQO} = (3.22 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g}/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

$$\text{DQO} = 8.34 \text{ Kg/mes}$$

○ Aceites & Grasas

$$\text{A\&G} = [\text{A\&G}] * Q$$

$$\text{A\&G} = (15.97 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$\text{A\&G} = 0.84 \text{ mg/s}$$

$$\text{A\&G} = (0.84 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g}/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

$$\text{A\&G} = 2.19 \text{ Kg/mes}$$

○ Sustancias Activas al Azul de Metileno

$$\text{SAAM} = [\text{SAAM}] * Q$$

$$\text{SAAM} = (3.22 \text{ mg/l}) * (0.053 \text{ l/s})$$

$$\text{SAAM} = 0.17 \text{ mg/s}$$

$$\text{SAAM} = (0.17 \text{ mg/s}) * (60 \text{ s/min}) * (60 \text{ min/h}) * (24 \text{ h/d}) * (30 \text{ dia/mes}) * (1 \text{ g}/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ kg}/1000 \text{ g})$$

$$\text{SAAM} = 0.44 \text{ Kg/mes}$$

Tanque séptico Actual

Cámara 1

✓ Caudal (Q)
 $Q = 7.214 \text{ m}^3/\text{d}$

✓ Longitud del tanque (L_T)
 $L_T = 3.4 \text{ m}$

✓ Ancho del tanque (B_T)
 $B_T = 2.2 \text{ m}$

✓ Altura útil del tanque (H_{ut})
 $H_{ut} = 1.6 \text{ m}$

✓ Altura para el transporte de los gases (H_{Tg})
 $H_{Tg} = 0.35 \text{ m}$

✓ Área del tanque (A_T)
 $A_T = L_T^2 * r$
 $A_T = (3.4 \text{ m})^2 * (L_T/B_T)$
 $A_T = (3.4 \text{ m})^2 * (3.4\text{m} / 2.2\text{m})$
 $A_T = 17.87 \text{ m}^2$

✓ Altura Total (H_T)
 $H_T = H_{ut} + H_{Tg}$
 $H_T = 1.6\text{m} + 0.35 \text{ m}$
 $H_T = 1.95 \text{ m}$

✓ Volumen real del tanque (V_{rT})
 $V_{rT} = A_T * H_T$
 $V_{rT} = 17.86 \text{ m}^2 * 1.95 \text{ m}$
 $V_{rT} = 34.8376 \text{ m}^3$

✓ Volumen útil del tanque (V_{ut})
 $V_{ut} = A_T * H_{ut}$
 $V_{ut} = 28.5847 \text{ m}^3$

Igualando las ecuaciones de V_{LT} y V_{UT}

✓ Volumen útil destinado para almacenamiento de lodos (V_{LT})

$$V_{LT} = (SST \cdot Q \cdot TRS) / 10^9$$

donde:

V_{LT} = volumen útil destinado para almacenamiento de lodos m^3

SST = sólidos suspendidos totales mg/l

Q = Caudal l/d

TRS = Tiempo de residencia de los sólidos (d)

✓ Volumen útil del tanque (V_{ut})

$$V_{ut} = Q \cdot TRH \cdot V_{LT}$$

donde:

Q = Caudal (m^3 / d)

TRH: tiempo de residencia hidráulica (d)

Iterando nos da

TRH = 8.221 d

TRS = 133.1d

por lo tanto el volumen útil destinado para almacenamiento de lodos es

$$V_{LT} = 0.482 m^3$$

Cámara 2

✓ Caudal (Q)

$$Q = 7.214 m^3 / d$$

✓ Longitud del tanque (L_T)

$$L_T = 2.4 m$$

✓ Ancho del tanque (B_T)

$$B_T = 2.2 m$$

✓ Altura útil del tanque (H_{ut})

$$H_{ut} = 1.6 m$$

✓ Altura para el transporte de los gases (H_{Tg})

$$H_{Tg} = 0.35 m$$

✓ Área del tanque (A_T)

$$A_T = L_T^2 * r$$

$$A_T = (2.4 \text{ m})^2 * (L_T/B_T)$$

$$A_T = (2.4 \text{ m})^2 * (2.4\text{m} / 2.2\text{m})$$

$$A_T = 6.2836 \text{ m}^2$$

✓ Altura Total (H_T)

$$H_T = H_{ut} + H_{Tg}$$

$$H_T = 1.6\text{m} + 0.35 \text{ m}$$

$$H_T = 1.95 \text{ m}$$

✓ Volumen real del tanque (V_{rT})

$$V_{rT} = A_T * H_T$$

$$V_{rT} = 6.2836 \text{ m}^2 * 1.95 \text{ m}$$

$$V_{rT} = 12.2531 \text{ m}^3$$

✓ Volumen útil del tanque (V_{ut})

$$V_{ut} = A_T * H_{ut}$$

$$V_{ut} = 10.0538 \text{ m}^3$$

igualando las ecuaciones V_{LT} y V_{UT}

✓ Volumen útil destinado para almacenamiento de lodos (V_{LT})

$$V_{LT} = (SST * Q * 7 * TRS) / 10^9$$

donde:

V_{LT} = volumen útil destinado para almacenamiento de lodos m^3

SST= sólidos suspendidos totales mg/l

Q= Caudal l/d

TRS= Tiempo de residencia de los sólidos (d)

✓ Volumen útil del tanque (V_{ut})

$$V_{ut} = Q * TRH * V_{LT}$$

donde:

Q= Caudal (m^3/d)

TRH: tiempo de residencia hidráulica (d)

Iterando nos da

TRH= 4.161 d

TRS= 92.5 d

por lo tanto el volumen útil destinado para almacenamiento de lodos es
 $V_{LT} = 0.335 \text{ m}^3$

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente actual

- ✓ Caudal (Q)
 $Q = 7.214 \text{ m}^3/\text{d}$

- ✓ Largo del filtro (L_f)
 $L_f = 2.25 \text{ m}$

- ✓ Ancho del filtro (B_f)
 $B_f = 2.2 \text{ m}$

- ✓ Altura total del filtro (H_{Tf})
 $H_{Tf} = 1.95 \text{ m}$

- ✓ Altura del medio poroso (H_{mp})
 $H_{mp} = 0.55 \text{ m}$

- ✓ Altura de la fase gaseosa o altura del borde libre (H_{fg})
 $H_{mp} = 0.9 \text{ m}$

- ✓ Área superficial del filtro (A_{sf})
 $A_{sf} = B_f * L_f$
 $A_{sf} = 2.2\text{m} * 2.25\text{m}$
 $A_{sf} = 4.95 \text{ m}^2$

- ✓ Volumen real del filtro (V_{Rf})
 $V_{Rf} = A_{sf} * H_{Tf}$
 $V_{Rf} = 4.95\text{m}^2 * 1.95\text{m}$
 $V_{Rf} = 9.6525 \text{ m}^3$

- ✓ Volumen del medio poroso (V_{mp})
 $V_{mp} = A_{sf} * H_{mp}$
 $V_{mp} = 4.95\text{m}^2 * 0.55\text{m}$
 $V_{mp} = 2.7225 \text{ m}^3$

- ✓ Altura útil del filtro (H_{uf})
 $H_{uf} = H_{mp} + H_{fg}$

$$H_{uf} = 0.55\text{m} + 0.9\text{m}$$

$$H_{uf} = 1.45 \text{ m}$$

✓ Volumen útil del filtro (V_{uf})

$$V_{uf} = A_{sf} * H_{uf}$$

$$V_{uf} = 7.1775 \text{ m}^3$$

✓ Volumen del liquido en el filtro (V_{Lf})

$$V_{Lf} = V_{uf} - V_{mp}$$

$$V_{Lf} = 7.18 \text{ m}^3 - 2.7 \text{ m}^3$$

$$V_{Lf} = 4.455 \text{ m}^3$$

✓ Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

$$\text{TRH} = (V_{Lf} * 24) / Q$$

$$\text{TRH} = (4.455 \text{ m}^3 * 24 \text{ h/d}) / (7.214 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$\text{TRH} = 14.8 \text{ h}$$

Cálculos del diseño de la trampa de grasa

Para la remoción de grasas presentes, se diseño una trampa de grasas según las especificaciones dadas en la guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales de ENACAL

Para el diseño de la trampa de grasas y aceites se utilizo el caudal pico $Q = 7.214 \text{ m}^3/\text{d}$ (equivalente a $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$)

✓ Volumen de la trampa de G & A (V)

$$V = Q * \theta$$

Donde:

V : Volumen de la trampa de grasas y aceites, m^3

Q : Caudal, m^3/h

θ : Tiempo de retención hidráulica, h

Se inicio calculando el volumen de la trampa de grasa y aceites tomando en consideración un tiempo de retención hidráulica, este fue de 30 min.

$$V = (0.3 \text{ m}^3/\text{h}) * (0.5 \text{ h})$$

$$V= 0.15 \text{ m}^3$$

✓ Altura efectiva de la trampa de grasa (H)

Debido a especificaciones dictadas en la guía técnica por el estado la altura debe de ser no menor a 90 cm. Tomando esta altura mínima tenemos que:

$$H= 0.9 \text{ m}$$

Con un borde libre de 30 cm.

✓ Ancho y longitud de la trampa de G & A

$$V= L * B * H$$

Donde:

L: longitud de la trampa de G & A, m

B: Ancho de la trampa de G & A, m

V: Volumen de la trampa de grasas y aceites, m³

H: Altura efectiva de la trampa de grasa, m

Se escogió una relación recomendada de Ancho / longitud de 2:3

por lo tanto,

$$B = 2X$$

$$L = 3X$$

$$0.15 \text{ m}^3 = 0.9 \text{ m} * (2X) \text{ m} * (3X) \text{ m}$$

$$0.15 \text{ m}^3 = 5.4 X^2 \text{ m}^3$$

$$X = 0.17 \text{ m}$$

$$X \approx 0.2 \text{ m}$$

Sustituyendo X en B y L

$$B = 0.4 \text{ m}$$

$$L = 0.6 \text{ m}$$

✓ Área de la trampa de grasa

$$A = L * B$$

Donde:

L: longitud de la trampa de G & A, m

B: Ancho de la trampa de G & A, m

A: Área correspondiente a la trampa de grasa, m²

$$A = 0.4 \text{ m} * 0.6 \text{ m}$$

$$A = 0.24 \text{ m}^2$$

ANEXO D

Tablas utilizadas para el cálculo de porcentaje de remoción de los contaminantes

Tabla D-1 Plantas de tratamiento Fosa Séptica – Fafa en Nicaragua

Localidad	Caudal m ³ /d	DBO, mg/l		DQO mg/l		SS mg/l		Porcentaje de reducción		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	% DBO	% DQO	% SS
León / San Carlos	260	366	92	740	216	381	47	74.9	70.8	87.7
La Paz Centro	384	358	98	811	214	391	93	72.6	73.6	76.2
Ocotal	1984	357	67	730	186	490	45	81.2	74.5	90.8

Fuente: Operación y mantenimiento de PTAR Nicaragua. ENACAL agosto 2005.

Tabla D-2 Rango y límites máximos permisibles para descargas de aguas domésticas.

Parámetro		Unidad	Rango y límites máximos permisibles promedio diario
Físicos	pH	Unidad	6-9
	Sólidos Sedimentables	mg/l	1
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	80
Químicos	DBO	mg/l	90
	DQO	mg/l	180
	Aceites y Grasas	mg/l	10
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	3

Fuente: Decreto 33-95 arto.23

Tabla D-3 Rango y límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales tratadas utilizadas para el riego agrícola

Parámetro	Unidad	Rango y límites máximos permisibles promedio diario
pH	Unidad	6.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	Micromhos/cm	2000
DBO	mg/l	120
DQO	mg/l	200
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	120
Aluminio	mg/l	5
Arsénico	mg/l	0.1
Boro	mg/l	1
Cadmio	mg/l	0.01
Cianuro	mg/l	0.02
Cobre	mg/l	0.2
Cromo	mg/l	0.1
Hierro	mg/l	5
Fluoruros	mg/l	3
Manganeso	mg/l	0.2
Níquel	mg/l	0.02
Plomo	mg/l	0.5
Selenio	mg/l	0.02
Zinc	mg/l	2
Coliformes Fecales	Cada 100 ml	1000
Huevos de Helmintos	Cada 1000 ml	1
Tasa de adsorción de sodio	mg/l	6

Fuente: Decreto 33-95 art. 57

ANEXO E

**Fotografía de la planta
de tratamiento de agua
residual doméstica bajo
estudio.**



Figura E-1 Caja de registro del afluente



Figura E-2 Afluente de cámara 1 del tanque séptico



Figura E-3 Agua domestica en cámara 1 del tanque séptico



Figura E-4 Agua en cámara 2 del tanque séptico



Figura E-5 Afluente de la cámara 2 tanque séptico



Figura E-6 Nata de cámara 2 tanque séptico



Figura E-7 Tee del afluente cámara 2 del tanque séptico



Figura E-8 Nata de la cámara 2 del tanque séptico



Figura E-9 Afluente de FAFA



Figura E-10 Efluente de FAFA

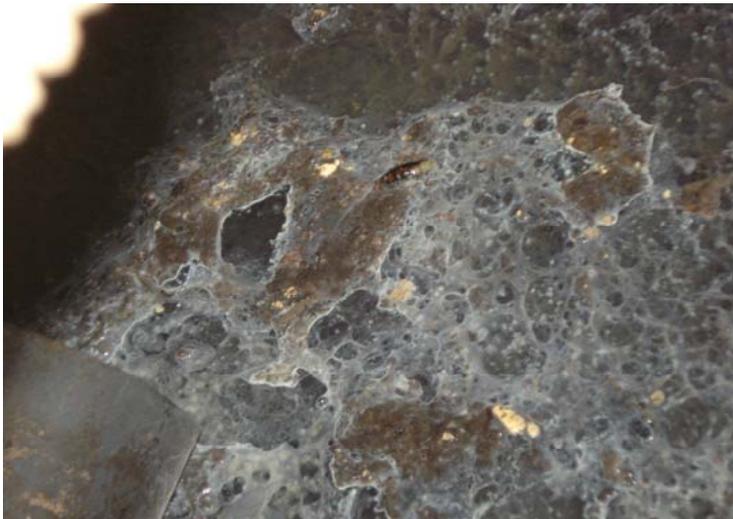


Figura E-11 Efluente y biomasa del FAFA

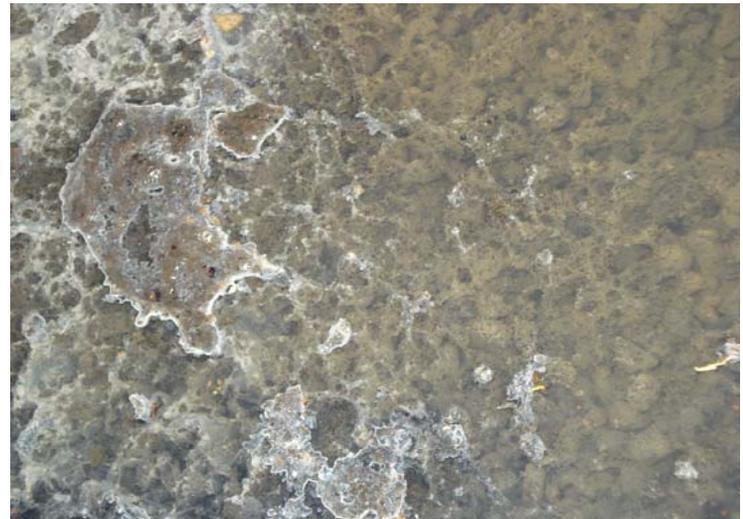


Figura E-12 Biomasa del FAFA



Figura E-13 Medio de soporte del FAFA



Figura E-14 Efluente y medio de soporte del FAFA



Figura E-15 Biomasa en el FAFA



Figura E-16 Afluente Pozo de adsorción



Figura E-37 Pozo de Adsorción