

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS  
RESIDUALES EN BENEFICIOS HUMEDOS DE CAFE.”**

PRESENTADO POR:

**ALEX ERNESTO MOLINA GUARDADO  
ROLANDO ANTONIO VILLATORO MARTINEZ**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL :

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

**ING. LUÍS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO CIVIL**

Título :

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS  
RESIDUALES EN BENEFICIOS HUMEDOS DE CAFE.”**

Presentado por :

**ALEX ERNESTO MOLINA GUARDADO  
ROLANDO ANTONIO VILLATORO MARTINEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

**ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÒN**

**ING. LUÍS ALBERTO GUERRERO**

**ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ**

SAN SALVADOR, MARZO DE 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÒN**

**ING. LUÍS ALBERTO GUERRERO**

**ING. MIGUEL FRANCISCO AREVALO MARTINEZ**

# INDICE

## 1.0 MARCO TEORICO

1.1Anteproyecto.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	2
1.1.2 Planteamiento de Problema.....	4
1.1.3 Objetivos.....	7
1.1.4 Alcances.....	8
1.1.5 Limitaciones.....	9
1.1.6 Justificación.....	10
1.2 Caracterización de los Contaminantes Típicos en las Aguas Residuales del Beneficiado de café.....	11
1.2.1 Propiedades Físicas.....	13
1.2.1.1 Sólidos Disueltos.....	13
1.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST) .....	14
1.2.1.3 Sólidos Volátiles.....	14
1.2.1.4 Sólidos Sedimentables (SSed).....	15
1.2.1.5 Sólidos Totales Fijos.....	15
1.2.1.6 Temperatura (T), Olor, Color y Turbiedad.....	16

1.2.2 Propiedades Químicas.....	18
1.2.2.1 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.).....	18
1.2.2.2 Demanda bioquímica de Oxígeno (D.B.O.).....	19
1.2.2.3 Oxígeno Disuelto (O.D.).....	20
1.2.2.4 Potencial de Hidrógeno (PH).....	25
1.2.2.5 Fósforo Total (P).....	26
1.2.2.6 Nitrógeno Total (N).....	29
1.2.2.7 Carbono Total (C).....	32
1.2.2.8 Aceites y Grasas (A y G).....	33
1.2.3 Propiedades Bacteriológicas.....	35
1.2.3.1 Coliformes Totales (CT).....	36
1.2.3.2 Coliformes Fecales.....	36
1.3 Historia del Café y su Llegada a El Salvador.....	37
1.4 Datos Técnicos del Café.....	43
1.5 Generalidades del Proceso de Beneficiado del Café.....	45
1.5.1 Beneficiado Húmedo.....	45
1.5.2 Beneficiado Seco.....	51
1.6 Contaminantes en las Aguas de Lavado del Café y la Pulpa.....	53

1.6.1 Contaminantes en las Aguas de Despulpe.....	55
1.6.2 Contaminantes en las Aguas Mieles.....	56
1.6.3 Contaminantes de la pulpa del café.....	57
1.7 Consecuencias del Vertido de las Aguas Residuales del Beneficiado de Café a los Cuerpos Receptores.....	60
1.8 Consecuencias del Vertido de la Pulpa de Café a Cuerpos Receptores...	62
2.0 PROBLEMAS COMUNES DE LOS SISTEMAS ACTUALES DE TRATAMIENTO EN LOS BENEFICIOS HÚMEDOS DE CAFÉ A NIVEL NACIONAL.....	64
2.1 Sistemas de Tratamiento Actuales en los Beneficios de Café y sus Resultados.....	64
2.2 Distribución de los Beneficios de Café en El Salvador.....	71
2.2.3 Problemas en los Sistemas Actuales de Tratamiento.....	72
2.3.1 Problemas en las Lagunas de Secado.....	72
2.3.1.1 Descripción y Funcionamiento.....	72
2.3.1.2 Infiltración.....	72
2.3.1.3 Criadero de Insectos.....	73
2.3.1.4 Generación de Lodos.....	73
2.3.1.5 Crecimiento de Maleza.....	73

2.3.1.6 Malos Olores.....	74
2.3.1.7 Rebalse.....	74
2.3.1.8 Tiempos de Secado.....	74
2.3.1.9 Operación y Mantenimiento.....	74
2.3.2 Problemas en las Lagunas de Estabilización u Oxidación.....	75
2.3.2.1 Descripción y Funcionamiento.....	75
2.3.2.2 Infiltración.....	76
2.3.2.3 Criadero de Insectos.....	76
2.3.2.4 Generación de Lodos.....	76
2.3.2.5 Crecimiento de Maleza.....	77
2.3.2.6 Malos Olores.....	77
2.3.2.7 Rebalse.....	77
2.3.2.8 Tiempos de Retención.....	77
2.3.2.9 Drenaje y Disposición Final.....	78
2.3.2.10 Operación y Mantenimiento.....	78
2.3.3 Problemas en las Plantas de Tratamiento Convencionales.....	79
2.3.3.1 Rejas.....	79
2.3.3.2 Medidores de Caudal.....	80

2.3.3.3 Canales de Transporte.....	80
2.3.3.4 Desarenadores.....	81
2.3.3.5 Pilas Homogenización.....	81
2.3.3.6 Tanques Sedimentadores.....	81
2.3.3.7 Filtros Biológicos.....	82
2.3.3.8 Digestores de Lodos.....	82
2.3.3.9 Patios de Secados de Lodos.....	83
2.3.4 Problemas en Métodos de Tratamientos Varios.....	83
2.3.4.1 Problemas en Sistemas Anaerobios.....	83
2.3.4.2 Problemas en Sistemas Aerobios.....	83
2.3.4.3 Problemas con el Uso de Otros Sistemas.....	84
3.0 PROPUESTAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS BENEFICIOS HÚMEDOS DE CAFÉ.....	86
3.1 Propuesta de Tratamiento Preliminar.....	86
3.1.1 Propuesta de Rejas.....	86
3.1.1.1 Análisis del Elemento.....	86
3.1.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	87
3.1.1.3 Diagramas.....	94

3.1.1.4 Resultados.....	95
3.1.2 Propuesta de Pilas de Homogenización .....	95
3.1.2.1 Análisis del Elemento.....	95
3.1.2.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	97
3.1.2.3 Diagramas.....	108
3.1.2.4 Resultados.....	109
3.1.3 Propuesta de Desarenadores.....	111
3.1.3.1 Análisis del Elemento.....	111
3.1.3.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	112
3.1.3.3 Diagramas.....	117
3.1.3.4 Resultados.....	118
3.1.4 Propuestas de Medidores de Caudal.....	118
3.1.4.1 Análisis del Elemento.....	118
3.1.4.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	120
3.1.4.3 Diagramas.....	125
3.1.4.4 Resultados.....	127
3.2 Propuesta de Tratamiento Primario .....	127
3.2.1 Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).....	127

3.2.1.1	Análisis del Sistema.....	127
3.2.1.2	Diseño Hidráulico Sanitario.....	129
3.2.1.3	Diagramas.....	138
3.2.1.4	Resultados.....	139
3.2.2	Lodos Activados.....	140
3.2.2.1	Análisis del Sistema.....	140
3.2.2.2	Diseño Hidráulico Sanitario.....	143
3.2.2.3	Diagramas.....	147
3.2.2.4	Resultados.....	149
3.2.3	Lagunas Anaerobia, Aerobias y Facultativas.....	150
3.2.3.1	Análisis de los Sistemas.....	150
3.2.3.2	Diseño Hidráulico Sanitario.....	156
3.2.3.3	Diagramas.....	164
3.2.3.4	Resultados.....	168
3.2.4	Biodigestores.....	170
3.2.4.1	Análisis del Sistema.....	170
3.2.4.2	Diseño Hidráulico Sanitario.....	174
3.2.4.3	Diagramas.....	178

3.2.4.4 Resultados.....	179
3.3 Propuesta de Tratamiento Secundario.....	181
3.3.1 Filtro Biológico.....	181
3.3.1.1 Análisis del Sistema.....	181
3.3.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	187
3.3.1.3 Diagramas.....	190
3.3.1.4 Resultados.....	191
3.3.2 Sedimentadores.....	191
3.3.2.1 Análisis del Sistema.....	191
3.3.2.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	192
3.3.2.3 Diagramas.....	195
3.3.2.4 Resultados.....	196
3.3.3 Tratamiento Secundario por Medio de Lagunas Aerobias, Anaerobias y Facultativas.....	196
3.3.3.1 Análisis del Sistema.....	196
3.3.3.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	197
3.3.3.3 Resultados.....	197

3.4 Propuesta de Otros Elementos Constituyentes de Tratamiento.....	197
3.4.1 Sedimentador Primario.....	197
3.4.1.1 Análisis del Sistema.....	197
3.4.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario.....	198
3.4.1.3 Diagramas.....	201
3.4.1.4 Resultados.....	202
3.4.2 Patio de Secado.....	203
3.4.2.1 Análisis del Sistema.....	203
3.4.2.2 Diseño Sanitario.....	204
3.4.2.3 Diagramas.....	209
3.4.2.4 Resultados.....	211
3.4.3 Digestores de Lodos.....	211
3.4.3.1 Análisis del Sistema.....	211
3.4.3.2 Diseño Sanitario.....	213
3.4.3.3 Diagramas.....	215
3.4.3.4 Resultados.....	216
4.0 PROPUESTAS DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA TRATADA Y PROPUESTAS PARA EL USO DE LA PULPA DE CAFÉ .....	217

4.1 Reciclaje del Agua Miel Residual.....	217
4.2 Uso del Agua Miel en la Agricultura.....	218
4.3 Usos Diversos.....	225
4.3.1 Paisajístico.....	225
4.3.2 Servicios Sanitarios.....	225
4.3.3 En la Construcción.....	226
4.4 Propuestas de Uso de la Pulpa de Café.....	234
4.4.1 Compostaje.....	234
4.4.2 Pulpa para Alimento Animal.....	236
4.4.3 Pulpa como Combustible.....	237
4.5. Aprovechamiento del Pergamino .....	238
4.5.1 Pergamino como Combustible.....	238
4.5.2 Pergamino para Celulosa.....	238
5.0 COMPARACION Y ANÁLISIS ENTRE LAS DESCARGAS DE LOS TRATAMIENTOS Y LAS NORMAS.....	240
5.1 Análisis y Comparación de la Descarga del Tratamiento Primario.....	240
5.2 Análisis y Comparación de la Descarga del Tratamiento Secundario.....	244

5.3 Análisis y Comparación de la Descarga Final .....	247
6.0 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION EN DIFERENTES BENEFICIOS DE CAFÉ.....	251
6.1 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Preliminar.....	251
6.2 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Primario.....	252
6.3 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Secundario.....	253
6.4 Análisis de las Propuesta de los Otros Tratamiento Constituyentes.....	254
7.0 DESARROLLO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO Y SU APLICACIÓN..	256
7.1 Instalación y ejecución del DHS.....	256
7.2 Manual del Usuario del DHS.....	261
8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	264
8.1 Conclusiones.....	264
8.2 Recomendaciones.....	266

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

ANEXO 1: NORMA SALVADOREÑA CONACYT

ANEXO 2: NORMA OFICIAL MEXICANA

ANEXO 3: REGLAMENTO AGUAS RESIDUALES DECRETO 39

ANEXO 4: REGLAMENTO CALIDA DEL AGUA DECRETO 50

ANEXO 5: PROPUESTA DE REGLAMENTO MUNICIPAL

ANEXO 6: EJERCICIOS PARA CORRER EN PROGRAMA DHS

ANEXO 7: CODIGO PROGRAMA DHS

GLOSARIO

# GLOSARIO

## DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: por iluminarme en momentos difíciles de mi vida y sacarme adelante con este logro profesional

A MIS PADRES: Martín y Daysi, gracias por darme todo para lograr mi carrera, los amo

A MI HERMANA: Luisa, gracias por todo el apoyo y ternura de tu parte, me ayudaste mucho sin darte cuenta, te quiero mucho hermana!!

A MIS TIOS: Ismael y Dora Alicia, gracias por aguantarme y brindarme su apoyo, sin ustedes hubiera sido más difícil lograr mi carrera.

A MIS FAMILIARES: abuelita Maria y abuelita Alicia, esto es un logro para ustedes las quiero mucho; mi prima verónica, gracias por todo, y a toda mi familia que de alguna u otra manera me ayudaron a terminar mis estudios.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: agradezco a todos mis amigos que me dieron apoyo y ánimos en momentos difíciles, y me alegraron la vida durante todo mi época de estudios; a mis compañeros de batalla de la universidad gracias por compartir alegrías y penas, además compartimos conocimientos. GRACIAS A TODOS!!!

ROLANDO ANTONIO

## **1.0 MARCO TEORICO.**

### **1.1 Anteproyecto.**

#### 1.1.1 Introducción.

El presente Trabajo de Graduación “Propuesta de Tratamientos de Aguas Residuales en Beneficios Húmedos de Café”, brinda diferentes alternativas de sistemas de tratamientos para las aguas mieles y el posterior aprovechamiento de las aguas tratadas y de la pulpa del café.

Se detalla el problema actual de los beneficios de café, así como los estudios previos acerca del tema de contaminación por aguas residuales del despulpe y lavado del café, y la contaminación generada por el vertido de la pulpa a los cuerpos de agua; se plantean los objetivos que se persiguen, los alcances y las limitaciones que tendremos en el desarrollo del tema.

También presentamos las conclusiones y recomendaciones que debemos de tomar en cuenta durante todo el tiempo de desarrollo del trabajo de graduación.

### 1.1.2 Antecedentes.

Las primeras investigaciones del impacto ambiental de los Beneficios de Café en El Salvador provienen desde 1971 cuando Juan José Marengo Rivas hizo su trabajo de graduación para la escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES) “Utilización de las Aguas Mieles del Café y el Extracto de la Pulpa” que estudia los posibles usos del agua miel sin tratar. Para 1981, se hizo el trabajo de graduación de Ingeniería Agronómica de la UES “Importancia de los Desechos Líquidos del Beneficio de Café” por María Raymunda Guzmán Mazariego, que estudia la reutilización de las aguas mieles para el sector de la agricultura. En 1983 se escribió el documento “Contaminación Ambiental Provocada por las Aguas Mieles de la Agroindustria del Café en la zona Occidental” por la Unidad de Ciencias Económicas de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la UES que estudia el impacto ambiental de las aguas mieles arrojadas a los cuerpos receptores de agua; y en 1984 Miguel Francisco Arévalo Martínez, de Ingeniería Química de la UES hizo su trabajo de graduación “Optimización del Consumo de Agua en el Beneficiado de Café Como Alternativa para Disminuir la Contaminación por Aguas Mieles Residuales” que da alternativas para la optimización del agua en los beneficios por medio de sistemas industriales más eficientes.

En 1993 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Ministerio de Salud emitieron el informe “Catastro de Vertidos Industriales y

Agroindustriales de El Salvador” con resultados alarmantes de contaminación, y deja claro de que en los beneficios de café no existía tratamiento de aguas residuales. En 1994, El Salvador iniciaba un período de resurgimiento económico y social, fortalecido por el proceso de paz, se generó un panorama favorable para que el país se dirigiera hacia la restauración de los recursos naturales, el mejoramiento del medio ambiente y de la calidad de vida de la población. En 1996 la OPS elaboró el documento “Optimización del Recurso Agua en los Beneficios de Café” que propone alternativas de reutilización y reciclaje del agua. En 1998 se le dio mayor importancia a la Legislación Ambiental en nuestro país y ese mismo año en Santiago de María departamento de Usulután el Consejo Municipal remite a la Asamblea Legislativa la “Propuesta de Ordenanza Municipal para la Regulación de las Aguas Mieles de Café de los Beneficios de Santiago de María”,

En 1998 se aprobó la Ley del Medio Ambiente, donde propone que las industrias nuevas deben que presentar un Estudio del Impacto Ambiental para obtener su permiso ambiental y trabajar en base a la ley; y las industrias ya establecidas deberán presentar un diagnostico ambiental para obtener dicho permiso, además tienen que proponer un programa de adecuación ambiental para corregir, disminuir y atenuar los impactos ambientales que puedan estar causando.

En el 2000 se construye en el Beneficio de Café de Ataspasco, Quezaltepeque, el primer Sistema Anaerobio para Tratamiento de las Aguas

Residuales provenientes del despulpe y las aguas mieles. En diciembre de 2002 el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) presentan el informe “Identificación de Empresas Agroindustriales Generadoras de Aguas Residuales y/o Desechos Sólidos en el Salvador” donde presenta resultados alarmantes de la contaminación de la agroindustria, en especial de los beneficios de café.

En Mayo de 2002 entra en vigencia el Reglamento Especial de Aguas Residuales (Decreto 39). A partir de esta fecha todos los beneficios de café comenzaron a implementar sistemas de tratamientos de sus aguas residuales, pero éstos no contaron con pruebas de laboratorio ni control del agua tratada, por el alto costo de éstas; sino que simplemente optaron por construir lagunas de secado de aguas residuales y lagunas estabilizadoras u oxidación que generan malos olores que incomoda a las comunidades vecinas.

### 1.1.3 Planteamiento del Problema.

En el beneficiado húmedo del café se generan tres diferentes tipos de contaminantes, éstos son: las aguas de despulpado, las aguas de lavado (agua miel) y la pulpa. En el Salvador existen aproximadamente 165 beneficios de café que generan más de 50 millones de metros cúbicos de desechos de pulpa y cascarilla, y unos 100 millones de metros cúbicos de aguas provenientes del

despulpe y el lavado<sup>1</sup>. Se calcula que el gasto de agua en los beneficios oscila entre los 800 y 2000 litros por cada 100 Kilogramos de café oro (equivalentes a 500 Kg de café cereza)

Investigaciones anteriores establecen que la pulpa del café puede perder hasta un 26% de su peso seco desintegrándose mientras es transportado a través de canales fuera del beneficio. Esta pérdida de peso no solo es una importante fuente de contaminación sino que también representa un gran empobrecimiento nutritivo de la misma, lo que limita seriamente su uso futuro.

El primer contaminante es el agua de despulpado en el beneficiado húmedo convencional y según investigaciones bibliográficas se ha estimado que contaminan 16000 mg/lit de Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O) y 10000 mg/lit de Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.) por kilogramo de café. El segundo contaminante es el agua de lavado de las mieles que rodean la semilla del café, operación previa al secado; las aguas de lavado aportan 17000 mg/lit de D.Q.O y 12000 mg/lit de D.B.O por kilogramo de café. El tercer contaminante es el vertido de la pulpa o de fracciones de ellas a las fuentes de agua, que es el más grave<sup>2</sup>.

El beneficiado húmedo de un kilogramo de café provoca, mediante la generación de las aguas del lavado y del despulpado, una contaminación

---

<sup>1</sup> Fuente: MAG, MARN Informe de Agro Industrias Contaminantes 2002

<sup>2</sup> Fuente: Instituto Superior de Ciencia y Tecnología de Cuba

equivalente a la generada por seis personas adultas por día. Que al ser arrojadas a los cuerpos receptores de agua producen alteraciones debido al excesivo contenido de materia orgánica eliminando por completo el Oxígeno Disuelto (O.D.). Los ríos, al recibir sustancias nutritivas del beneficiado, desarrollan poblaciones exageradas de lirios y algas, que a su vez actúan como fijadoras de sedimentos.

Según el MARN, la mayoría de los beneficios de café cuentan con métodos de tratamiento de aguas residuales, como lagunas de secado de aguas residuales, lagunas de estabilización u oxidación, tratamiento con cal, pero muy pocos tienen plantas de tratamiento, las cuales no son eficientes debido a malos diseños, por falta de mantenimiento y mala operación.

Las deficiencias de estos métodos es que no tratan el agua residual adecuadamente por falta de un diseño hidráulico sanitario desde el punto de vista de la ingeniería civil que solucione deficiencias como la infiltración en el subsuelo, tiempos de retención en las lagunas, dimensionamiento de las unidades de tratamientos, provocando que las aguas sean arrojadas en estado muy crudo a los cuerpos receptores. Además, la cosecha de café es en la estación de verano, cuando los caudales de los ríos y quebradas son mínimos, y hay baja capacidad de dilución de los contaminantes y existe mayor demanda de las aguas para riego.

El problema actual de los beneficios de café consiste en no tener sistemas de tratamientos de agua residual adecuados por falta de un diseño hidráulico sanitario específico que de solución a la alta contaminación y brinde una remoción adecuada de esta.

#### 1.1.4 Objetivos.

##### 1.1.4.1 Objetivo General.

Elaborar un documento que proponga diferentes alternativas de solución para el tratamiento de las aguas residuales de los lavados en el beneficiado de café con su respectivo diseño hidráulico sanitario, para reducir la contaminación de los cuerpos receptores y un mejor aprovechamiento de dichas aguas tratadas y de la pulpa en los beneficios húmedos de café.

##### 1.1.4.2 Objetivos Específicos.

- Conocer el proceso húmedo de la obtención del café en los beneficios de El Salvador, la cantidad y la caracterización de contaminantes que estos generan.
- Proponer diferentes alternativas para el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de lavado del café, con su diseño geométrico y dimensional; y sistemas disposición de la pulpa de café, a partir de las caracterizaciones de los contaminantes típicos en las aguas de los beneficios.

- Proponer un sistema de reutilización del agua tratada y la pulpa, de acuerdo a las necesidades del beneficio de café o de otros usos.
- Comparar los datos de análisis de los tratamientos de las aguas residuales de los beneficios de café con las normas nacionales e internacionales.
- Hacer un programa informático básico, que a partir de los datos típicos como caudal y caracterización de contaminantes, genere un diseño geométrico y dimensional de las unidades de tratamiento y los resultados posteriores al tratamiento.

#### 1.1.5 Alcances.

Se hará una propuesta de alternativas para el tratamiento de aguas residuales con su diseño Hidráulico Sanitario para el Beneficiado Húmedo de Café obtenida de sus procesos de Despulpe y Lavado de Aguas Mieles, también se propondrá la reutilización del agua tratada y el mejor aprovechamiento de sub productos (pulpa), de acuerdo a la Ley del Medio Ambiente, el Reglamento Especial de Aguas Residuales y la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-027-ECOL/1993 que establece los niveles máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria del beneficio de café, y la Propuesta de Norma Salvadoreña de Aguas residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Estas alternativas

incluirán únicamente diseños Hidráulicos Sanitarios de las unidades de tratamiento.

La caracterización de los contaminantes de las aguas que se tomarán en cuenta para el diseño de las unidades de las plantas de tratamiento serán los obtenidos de estudios anteriores a este trabajo de graduación y a los realizados actualmente en cada beneficio de café por los laboratorios competentes; y los parámetros de control y vigilancia del agua tratada serán extraídos de los reglamentos y normas antes mencionadas.

El programa informático se desarrollara en un lenguaje de programación básico y sencillo, para que se le introduzcan datos de caudal, y caracterización de contaminantes para que los procese y lance cómo resultado las dimensiones de la unidad de tratamiento y el porcentaje de remoción de contaminantes, en base a los reglamentos y normas antes mencionados.

#### 1.1.6 Limitaciones.

La poca colaboración de los propietarios o gerentes de beneficios de café y empresas privadas, al momento de la visita y de entrega de datos de caracterización de contaminantes hechas a través de pruebas de laboratorio.

La falta de cooperación para brindar información por parte de los ministerios y organismos del estado competentes en el tema sobre contaminación ambiental por las aguas residuales provenientes del beneficiado del café.

No se harán pruebas de laboratorio por su alto costo, y nos limitará a recopilar datos teóricos de caracterización de contaminantes de las aguas residuales de los beneficios de café; por lo que se trabajará con datos existentes en estudios bibliográficos y desactualizados,

El alto número y dispersión de beneficios de café a nivel nacional, limita la visita técnica a todos ellos para inspeccionarlos y observar sus controles de aguas residuales.

La falta de información de tratamiento de aguas residuales específicamente de los beneficios de café limita la investigación técnica y bibliográfica.

#### 1.1.7 Justificaciones

La contaminación de los ríos de El Salvador, es alarmante, aún después de siete años de legislación ambiental, nuestro país no logra atenuar los impactos ambientales, y mucho menos detenerlos. Las agroindustrias, específicamente los beneficios de café, son las responsables directas de la contaminación de nuestros ríos, porque no son capaces de proponer soluciones adecuadas, ya que no cuenta con el apoyo técnico, científico y financiero.

El agua residual evacuada contamina los ríos y extermina la fauna y flora acuática, debido a que, en el proceso de degradación de la materia orgánica se consume todo el oxígeno disuelto, necesario para que estos

puedan sobrevivir, además da un aspecto paisajístico negativo, debido a la coloración y turbiedad del agua.

Falta investigación sobre los diferentes sistemas de tratamiento para las aguas residuales descargadas por los beneficios de café y sobre los contaminantes a degradar u oxidar.

Este trabajo de graduación será una herramienta para todo profesional, empresario o industrial que se desenvuelva en el ámbito de la producción del café; además de brindar soluciones prácticas a problemas tradicionales como malos olores, desperdicio de agua y mal aprovechamiento de la pulpa en los beneficios de todo el país. Proponiendo diferentes alternativas de diseño para el tratamiento de las aguas residuales con el objeto de que se adecuen a cualquier beneficio que maneje el proceso húmedo de café.

## **1.2 Caracterización de los contaminantes típicos en las aguas residuales del beneficiado de café.**

El agua nunca es pura, excepto en su estado gaseoso. El agua siempre contiene impurezas, que son los constituyentes de origen natural. Por ejemplo, la presencia de iones de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) en las aguas subterráneas son normalmente de origen natural, siendo debidas a la disolución de estos minerales a partir de las rocas del suelo. Con frecuencia, el agua natural contiene contaminantes, que provienen de origen humano. Por ejemplo los compuestos con nitrógeno, como: amonio ( $\text{NH}_4$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) existentes en el agua subterránea, posiblemente se deba a la contaminación debido a fertilizantes agrícolas, residuos líquidos agrícolas, aguas residuales fecales o industriales.

La aceptación del agua para un uso definido depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas y a veces de si estas propiedades pueden modificarse para adaptarse a tal fin. La composición del agua es el resultado final de muchos procesos físicos y/o bioquímicos posibles.

Las propiedades físicas que muestran una variación amplia en magnitud son: color, turbiedad, olor, sabor, temperatura y contenido de sólidos.

Las propiedades químicas del agua pueden clasificarse como orgánicas e inorgánicas.

Las propiedades orgánicas del agua cuyo elemento principal es el Carbono (C), pueden ser de origen natural como las Proteínas, Lípidos, Hidratos de Carbono y Pigmentos Vegetales o de origen artificial como los Pesticidas y Productos Agroquímicos, Agentes Tensoactivos y los Hidrocarburos Halogenados, entre otros.

Las propiedades inorgánicas del agua que tienen mayor importancia en relación a su calidad ya sea potable, residual o agua de ríos y lagos son el Potencial de Hidrogeno (Ph), Dureza y Nutrientes<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España.

La determinación del contenido orgánico del agua puede ser por:

Ensayos específicos para medir las concentraciones de compuestos específicos.

Ensayos no específicos para medir la concentración total del contenido orgánico.

Los ensayos para la concentración de Carbono total incluyen:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- c) Carbono Orgánico Total (COT)

El oxígeno (O) es vital para toda la vida en nuestro planeta, y dentro del agua se encuentra en estado disuelto, parámetro muy importante dentro del estudio de aguas residuales.

Las propiedades Bacteriológicas del agua de mayor importancia son los coliformes fecales y los coliformes totales, cuya presencia es grave daño al ser humano.

#### 1.2.1 Propiedades Físicas.

##### 1.2.1.1 Sólidos Disueltos (SD).

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño

menor a 1.2  $\mu\text{m}$  (1.2 micras), tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación. En el tratamiento biológico de las aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16000 mg/Lt<sup>4</sup>. Los sólidos disueltos se miden en unidades de mg/Lt.

#### 1.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST).

El contenido de sólidos del agua es uno de los parámetros más significativos. La cantidad, el tamaño y el tipo dependen del agua específica. Por ejemplo, un agua residual fecal no tratada puede tener materia de partícula orgánica, incluyendo trozos de comida en el rango de milímetros, mientras que un agua tratada puede tener partículas en el rango de 6 - 10  $\mu\text{m}$ .

El contenido de sólidos en el agua afecta directamente la cantidad de lodos que se producen en el sistema de tratamiento para su disposición. Se consideran como sólidos totales suspendidos en un agua como al residuo de la evaporación y secado a 103 – 105 °C de esta. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. También se mide en unidades de mg/Lt.

---

<sup>4</sup> Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua. Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002.

#### 1.2.1.3 Sólidos Volátiles (SV).

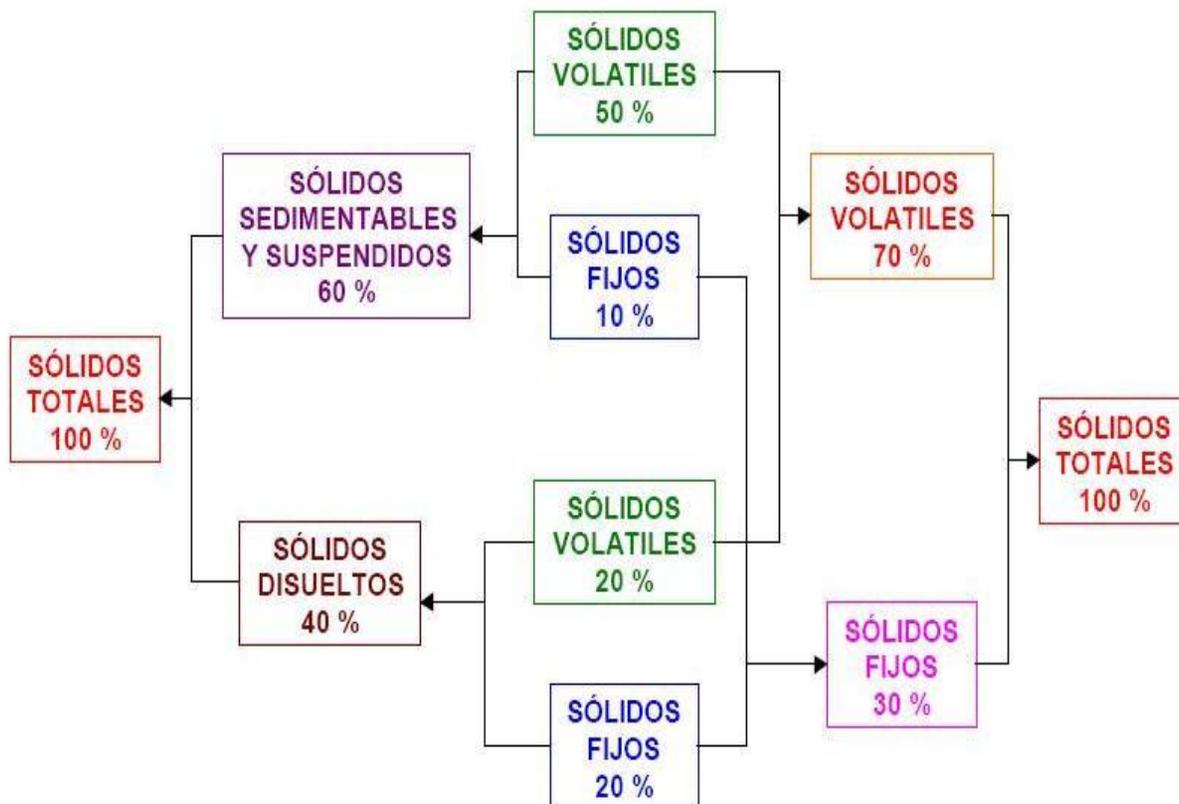
Los sólidos volátiles son básicamente la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de  $550 \pm 50$  °C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. Se expresan en mg/lit.

#### 1.2.1.4 Sólidos Sedimentables (SSED).

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en unidades de mg/lit.

#### 1.2.1.5 Sólidos Totales Fijos (STF).

El residuo de la calcinación a 550 °C de los sólidos volátiles, se conoce como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos presentes en las aguas residuales. Se miden en unidades de mg/lit.



**Figura 1 Composición de los Sólidos en las Aguas Residuales<sup>5</sup>**

#### 1.2.1.6 Temperatura (T), Olor, Color y Turbiedad.

La temperatura es el parámetro más significativo en las aguas de los lagos con respecto a la estabilidad. Cuando la densidad disminuye desde 1kg/l a 4 °C hasta 0.994 kg/l a 35 °C, el agua es más pesada a profundidades mayores y más ligera en la proximidad de la superficie. Si hay gradientes de

<sup>5</sup> Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua. Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002.

temperatura presentes, entonces puede producirse la estratificación entre la masa de agua superior más caliente y la masa de agua inferior más fría. En las plantas de tratamientos de aguas residuales la temperatura puede ser significativa ya que por encima de los 36 °C la colonia de microorganismos aerobios tiende a ser menos efectiva como estabilizadora de aguas residuales, también los procesos anaerobios, se ven afectados por la temperatura. En la mayoría de los casos se mide en unidades de °C.

El agua limpia es inodora, muchas sustancias químicas orgánicas y algunas inorgánicas son olorosas incluyendo las algas y otros organismos que indica presencia de ellas. El sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) presente en las aguas residuales, es mal oliente. El umbral del olor se determina al diluir una muestra en agua sin olor hasta que se detecta un olor perceptible. Este resultado se expresa como una relación de dilución. Existe una prueba de laboratorio muy importante en la determinación del olor, que es la Concentración del Umbral de Olor Mínimo Detectable (MDOTC), que es muy subjetiva y varía de una persona a otra. Se expresa en valores de umbral del olor, o en Numero de Unidades de Olor por unidad de Volumen (E/V), por ejemplo el cloroformo se detecta por el olfato con una concentración de 130 moléculas por cada millón de moléculas de aire en un metro cúbico de espacio ( $13 \mu g/m^3$ ).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)

El color en el agua es producido por los minerales disueltos, colorantes o ácidos húmicos de las plantas. La descomposición de la lignina produce compuestos coloreados de taninos y ácido húmicos. Este último produce un color pardo amarillo a pardo negro. Los residuos coloreados, incluyendo las plantas de colorante, pulpa o papel también causan color, como la presencia de hierro, magnesio y plancton. El color se mide en unidades de mg/l de platino y en los ríos oscila entre 5 y 200 mg/l.

La turbiedad (turbidez) en el agua es una medida de la nubosidad (falta de claridad). Es causada por la presencia de la materia en suspensión, la cual dispersa y absorbe la luz. En los lagos la turbiedad es debida a las suspensiones coloidales o finas. Son notables los lagos limpios en los que la luz puede penetrar a gran profundidad, determinada mediante una placa blanca y negra de 200 mm de diámetro (Disco Secchi), que se mantiene visible cuando se hace descender el agua. Y se mide en unidades de mg/l de  $\text{SiO}_2$  o en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU).

### 1.2.2 Propiedades Químicas.

#### 1.2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La DBO, es un estimativo de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables por una población heterogénea de microorganismos, es un parámetro no bien definido que ha sido utilizado por muchos años al asignar una demanda de oxígeno a las aguas

residuales. Mide sin dificultad el carbono orgánico total biodegradable presente en las aguas. Existe un concepto muy importante que es la DBO5 que es la cantidad de oxígeno disuelto, consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando descomponen la materia orgánica a 20 °C en un periodo de 5 días. Se mide generalmente en miligramos por litro (mg/l). Las aguas limpias tienen valores de DBO5 menores de 1 mg/l. Los ríos se consideran contaminados si la DBO5 es mayor que 5 mg/l. Otro concepto importante es la DBO última o DBOU, que requiere de 10 a 20 días para la estabilización completa. Generalmente la DBOU  $\approx$  2DBO5 <sup>7</sup>

#### 1.2.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico. Este parámetro ha sido usado por más de un cuarto de siglo para estimar el contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales. Sin embargo, la correcta interpretación de los valores de DQO puede presentar problemas, por lo cual se debe entonces entender las variables que afectan los resultados de este parámetro.

Generalmente, se podría esperar que la DBO última del agua residual se aproximara a la DQO. Sin embargo, existen muchos factores que afectan estos

---

<sup>7</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España.

resultados especialmente en desechos industriales complejos. Estos factores son los siguientes:

a) Muchos compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato de potasio no son bioquímicamente oxidables.

b) Ciertas sustancias inorgánicas, tales como sulfuros, sulfatos, tiosulfatos, nitritos y el ión ferroso son oxidados por el dicromato de potasio, creando una DQO inorgánica, lo cual entorpece los datos cuando la DQO se mide como el contenido de materia orgánica en un agua residual.

c) Los cloruros interfieren en el análisis de la DQO. Se puede obtener lecturas más altas resultantes de la oxidación de cloruros por dicromato de potasio. Se mide también en sus unidades de mg/lit

#### 1.2.2.3 Oxígeno Disuelto (OD).

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el

resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores que también afectan los niveles de OD; por ejemplo, en un día soleado se producen altos niveles de OD en áreas donde hay muchas algas o plantas debido a la fotosíntesis. La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura también. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente. Una diferencia en los niveles de OD puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua está fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de OD también puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y las temperaturas del agua en el verano. Así mismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 mg/lit aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 mg/lit para soportar una diversidad de vida acuática

Se mide de las siguientes formas:

a) mg/lit, que es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua

b) Como saturación del porcentaje de agua con O<sub>2</sub> (% sat.)

Si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua. Cuando hay muchas bacterias acuáticas en el agua, forman una sobrepoblación, usando el oxígeno disuelto en grandes cantidades.

Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobre fertilización de las plantas por la fuga desde los campos de los fertilizantes conteniendo estos nitratos y fosfatos (son ingredientes de los fertilizantes). Bajo de estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumenta en gran cantidad. Entonces, si el agua llega a estar turbia por algunos días, las plantas, consumirán mucho del oxígeno disuelto disponible. Cuando las plantas mueran, ellas llegarán a ser comida para bacterias, las cuales tendrán alta multiplicación y usaran grandes cantidades de oxígeno.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua que necesita un organismo depende de la especie de éste, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes, y más. Consecuentemente por esto es imposible predecir con precisión el mínimo nivel de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos. Por ejemplo, a 5°C (41°F), la trucha usa sobre 50 - 60 miligramos (mg) de oxígeno por hora, a 25°C (77°F), ellas deberían necesitar cinco o seis veces esa cantidad. Los peces son animales de

sangre fría, por lo que ellos utilizan más oxígeno en temperaturas altas cuando su velocidad metabólica aumenta.

Numerosos estudios científicos sugieren que 4 - 5 mg/lit de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportará una gran y diversa población de peces. El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 mg/lit <sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua. Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002.

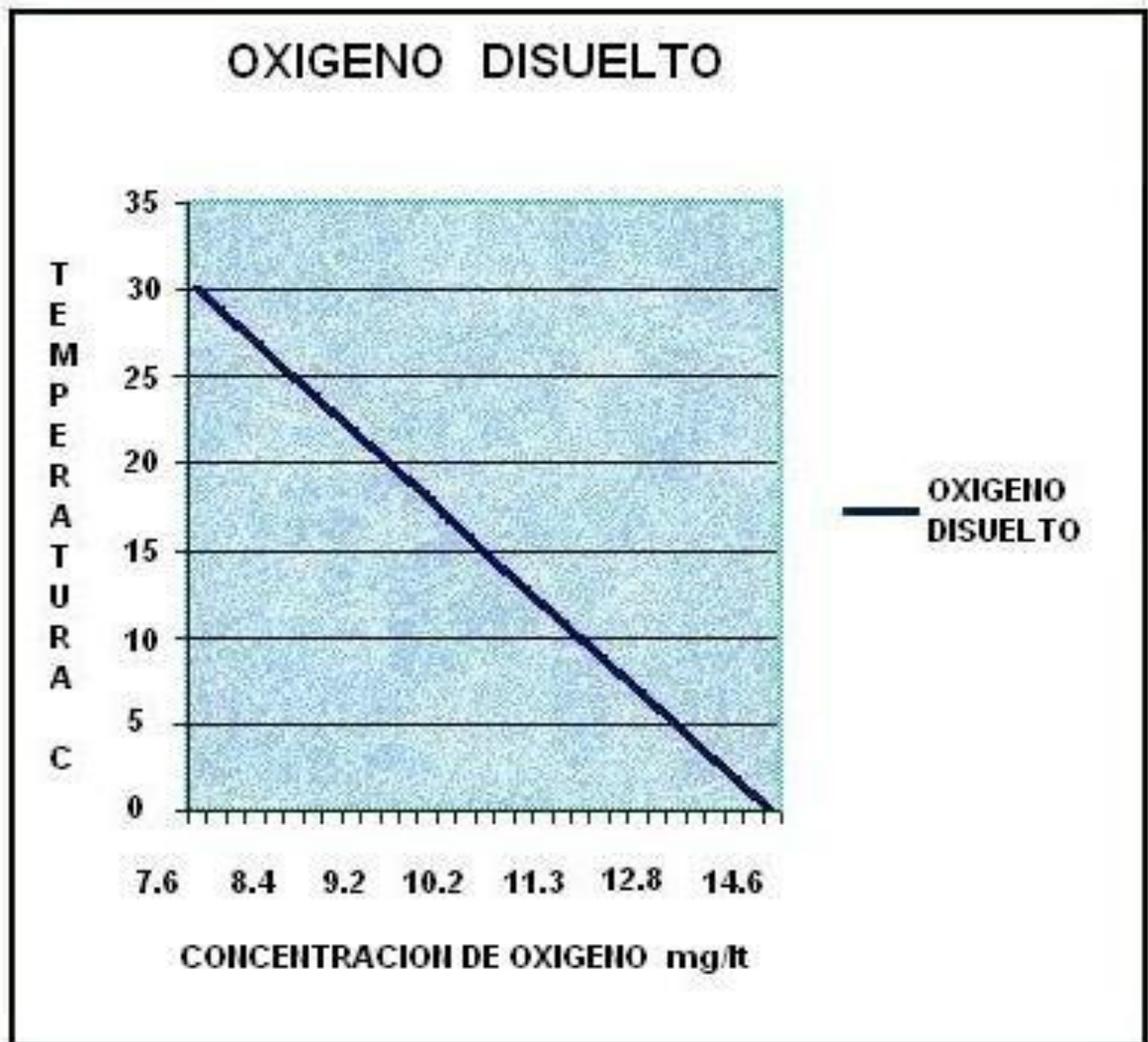


Figura 2 Curva Temperatura y Oxígeno Disuelto

#### 1.2.2.4 Potencial de Hidrogeno (pH).

Es la medida adimensional de acidez o alcalinidad de una sustancia. Por definición el pH de una solución es igual al logaritmo negativo de la concentración de los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) en la solución.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

En el agua la concentración de los iones hidronio es de  $1.0 \times 10^{-7}$  a  $25^\circ\text{C}$ . El pH del agua pura será:

$$\text{pH} = -\log 1.0 \times 10^{-7} = 7.0$$

Cuando en el agua se disuelven sustancias ácidas se originan soluciones ácidas cuyas características es que su concentración de iones hidronio es mayor que  $1.0 \times 10^{-7}$  y su pH es menor que 7.0. Las sustancias ácidas siempre proporcionan protones  $\text{H}^+$  al agua generando iones hidronio y aumentando así su concentración por encima de  $1.0 \times 10^{-7}$  y pH menor que 7.

El pH de la mayoría de las aguas naturales esta entre 6 - 9 unidades. El pH permanece razonablemente constante a menos que la calidad de agua cambie debido a las influencias de tipo natural o antropogénicas, aumentando la acidez o la alcalinidad.

En el tratamiento de aguas para potabilización, se ve que la adición de alumbre como coagulante reduce el pH, el cual debe ser corregido por la

adición de cal ( $\text{CaCO}_3$ ). Como tal el pH es un parámetro clave en aspectos numerosos de la ingeniería ambiental.

#### 1.2.2.5 Fósforo Total (P).

El fósforo es un componente esencial de los organismos. Está en pequeñas cantidades en las plantas, en proporciones de un 0.2%, aproximadamente. En los animales hasta el 1% de su masa puede ser fósforo.

Su reserva fundamental en la naturaleza es la corteza terrestre. Por meteorización de las rocas o sacado por las cenizas volcánicas, queda disponible para que lo puedan tomar las plantas. Con facilidad es arrastrado por las aguas y llega al mar. Parte del que es arrastrado sedimenta al fondo del mar y forma rocas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo. Otra parte es absorbida por el plancton que, a su vez, es comido por organismos filtradores de plancton, como algunas especies de peces. Cuando estos peces son comidos por aves que tienen sus nidos en tierra, devuelven parte del fósforo en las heces a tierra.

Es el principal factor limitante en los ecosistemas acuáticos y en los lugares en los que las corrientes marinas suben del fondo, arrastrando fósforo del que se ha ido sedimentando, el plancton prolifera en la superficie. Al haber tanto alimento, se multiplican los bancos de peces.

Con los compuestos de fósforo que se recogen directamente de los grandes depósitos acumulados en algunos lugares de la tierra se abonan los terrenos de cultivo, a veces en cantidades desmesuradas.

El fósforo se transporta desde los sistemas agrícolas por la escorrentía, bien en forma soluble o adsorbida. Cuando hay erosión, las pérdidas de fósforo por la escorrentía son transportadas a los ríos y lagos originándose problemas de eutrofización. Generalmente el fósforo se expresa en unidades de mg/lit.

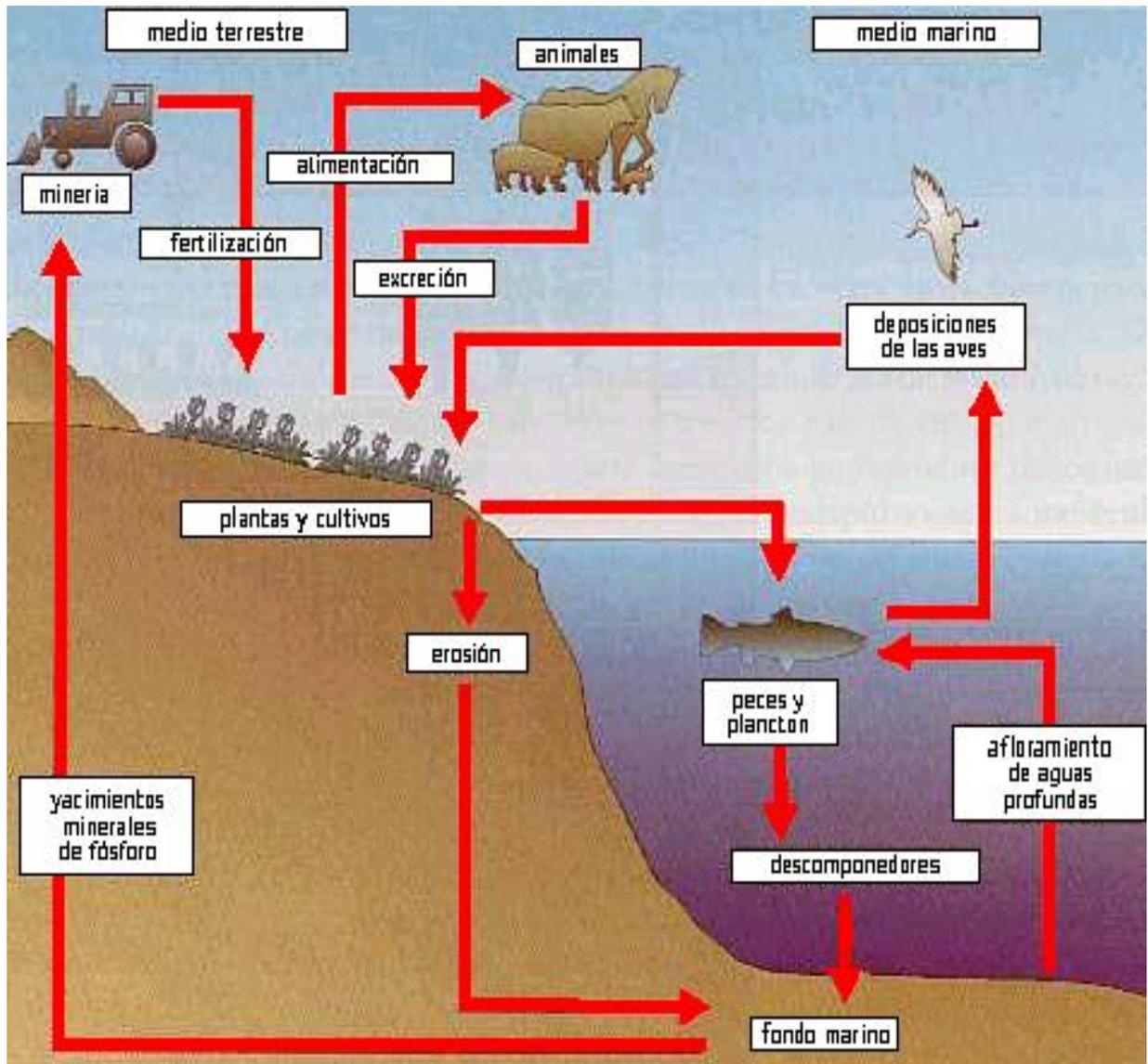


Figura 3 Ciclo del Fósforo<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua. Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002.

#### 1.2.2.6 Nitrógeno Total (N).

Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Su reserva fundamental en la atmósfera, en donde se encuentra en forma de  $N_2$ , pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (exceptuando algunas bacterias).

Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el  $N_2$  del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la fijación del nitrógeno. De esta forma convierten el  $N_2$  en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas.

El amonio ( $NH_4^+$ ) y el nitrato ( $NO_3^-$ ) lo pueden tomar las plantas por las raíces y usarlo en su metabolismo. Usan esos átomos de Nitrogeno para la síntesis de las proteínas y ácidos nucleicos. Los animales obtienen su nitrógeno al comer a las plantas o a otros animales.

En el metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales acaba formándose ión amonio que es muy tóxico y debe ser eliminado. Esta eliminación se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), o en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra o al agua de donde pueden tomarlos de nuevo las plantas o ser usados por algunas bacterias.

Algunas bacterias convierten amoníaco en nitrito y otras transforman este en nitrato. Una de estas bacterias (*Rhizobium*) se aloja en nódulos de las raíces de las leguminosas (alfalfa, alubia, etc.) y por eso esta clase de plantas son tan interesantes para hacer un abonado natural de los suelos.

Donde existe un exceso de materia orgánica en el mantillo, en condiciones anaerobias, hay otras bacterias que producen desnitrificación, convirtiendo los compuestos de Nitrógeno (N) en Nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ), lo que hace que se pierda de nuevo nitrógeno del ecosistema a la atmósfera.

A pesar de este ciclo, el N suele ser uno de los elementos que escasean y que es factor limitante de la productividad de muchos ecosistemas.

Tradicionalmente se han abonado los suelos con nitratos para mejorar los rendimientos agrícolas. Desde que se consiguió la síntesis artificial de amoníaco por el proceso de Fritz Haber, fue posible fabricar abonos nitrogenados que se emplean actualmente en grandes cantidades en la agricultura. Como veremos su mal uso produce, a veces, problemas de contaminación en las aguas como lo es la eutrofización. El nitrógeno en cualquiera de sus estados, la concentración se mide en unidades de mg/lit.

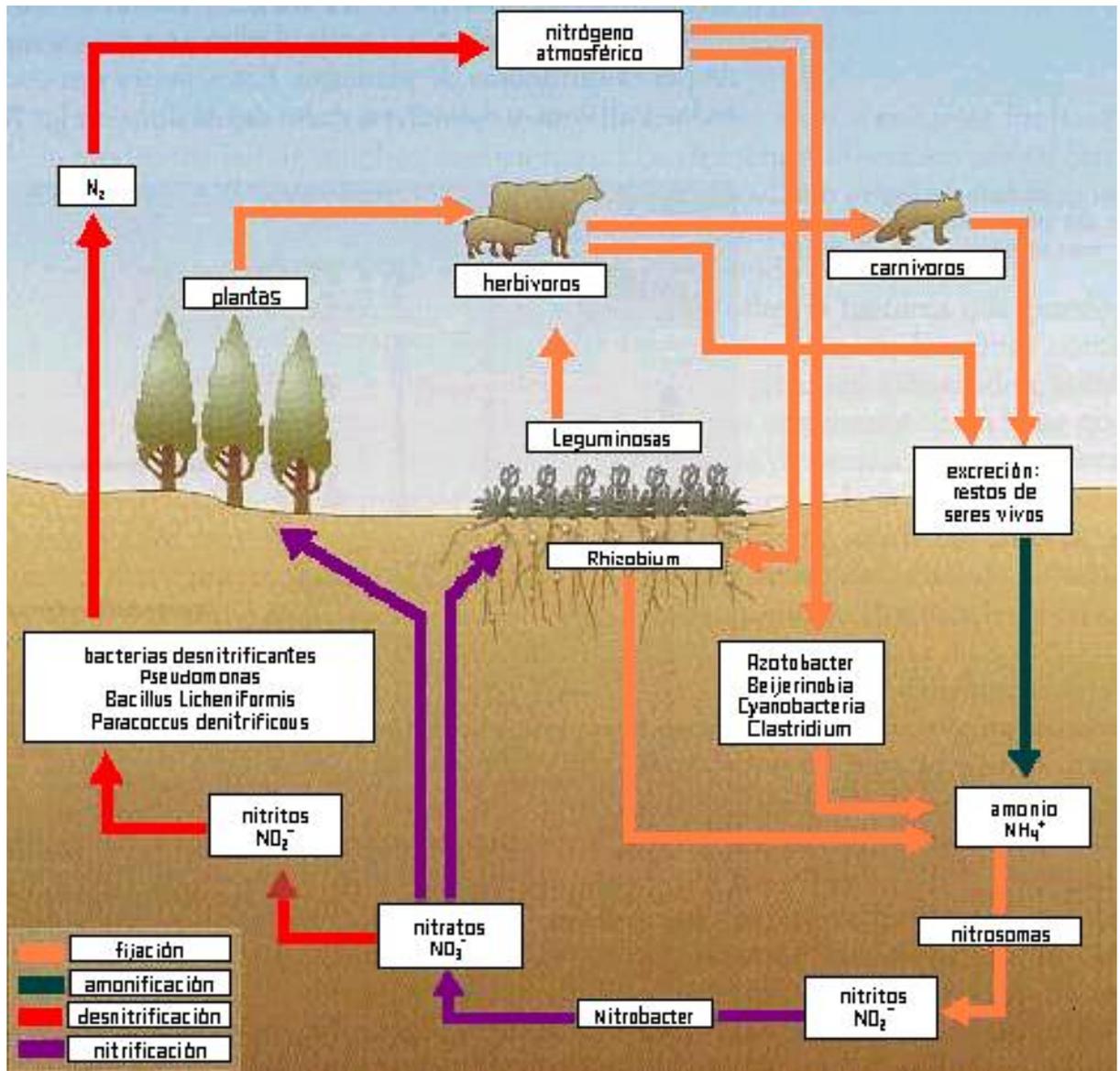


Figura 4 Ciclo del Nitrógeno<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua. Barba Ho, Luz Edith. Universidad del Valle, Santiago de Cali. 2002.

### 1.2.2.7 Carbono Total (C).

El carbono presente en el agua puede tener dos orígenes: carbono orgánico y carbono inorgánico. La cantidad de carbono orgánico se mide por dos métodos: uno se basa en medir la cantidad de carbono total en el agua, a la cual finalmente se le resta la cantidad de carbono inorgánico; el otro se basa en extraer el carbono inorgánico del agua a ensayar, quedando finalmente una cantidad remanente de carbono que representa el carbono orgánico.

El carbono orgánico total (COT) es un ensayo que se emplea para determinar la cantidad de carbono que forma parte de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Normalmente, el carbono orgánico es oxidado con dióxido de carbono por combustión, por radiación ultravioleta o por la adición de agentes oxidantes. La cantidad de dióxido de carbono generada en el proceso de descomposición es medida empleando un método apropiado, como por ej. por medio de un analizador infrarrojo de gases, por medición de la conductividad eléctrica o de la resistividad. La cantidad de carbono orgánico presente en el agua puede calcularse a partir de la cantidad de dióxido de carbono medida por los métodos mencionados anteriormente. El carbono se mide en unidades de mg/lit.

#### 1.2.2.8 Aceites y Grasas (A y G).

El contenido de grasas y aceites en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos se debe considerar para su manipulación y tratamiento hasta la disposición final. Al aceite y la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras.

Los residuos de la industria del empaque de carnes, especialmente mataderos, disminuyen severamente la capacidad de transporte de las alcantarillas; estas situaciones han servido como base para establecer normas y reglamentos que controlan la descarga de los materiales grasos a los sistemas de alcantarillado o a las aguas receptoras, y han obligado a las instalaciones de equipo de tratamiento en muchas industrias para recuperar la grasa o el aceite antes de que se autorice el desagüe.

Las grasas y aceites han generado muchos problemas en el tratamiento de residuos. Muy pocas plantas tienen la posibilidad de separar estos materiales para su disposición en los sistemas de recolección de grasa o en los incineradores; en consecuencia, el residuo que se separa en forma de nata en

los tanques de sedimentación primaria, normalmente es transferido a las unidades de disposición junto con los sólidos sedimentados. En los tanques de digestión de lodos, los aceites y grasas tienden a separarse y a flotar en la superficie para formar densas capas de natas, debido a su escasa solubilidad en el agua y a su bajo peso específico. Los problemas de estas capas son especialmente graves cuando los residuos de alto contenido en grasa llegan al alcantarillado público, por ejemplo, los del empaque de carnes y los de las industrias de grasas y aceites. La filtración al vacío del lodo también se complica por su alto contenido en grasa.

No todos los aceites y las grasas de las aguas servidas son removidos en unidades de sedimentación primaria, en las aguas residuales clarificadas quedan cantidades considerables, en forma de emulsión finamente dividida. Durante el ataque biológico subsiguiente que ocurre en las unidades de tratamiento secundario o en las corrientes receptoras, los agentes emulsificantes usualmente se destruyen y las partículas finamente divididas de grasas y aceite se unen libremente en partículas más grandes que se separan del agua. En las plantas de lodos activados, la grasa por lo general se acumula en "globos de grasa" que dan un aspecto antiestético a la superficie de los tanques de sedimentación final. Los filtros percoladores y los procesos de lodos activados son afectados adversamente por las excesivas cantidades de grasa que envuelven las formas biológicas lo suficiente para interferir con la

transferencia de oxígeno del líquido al interior de las células vivientes. Este fenómeno se describe algunas veces como acción “asfixiante”.

La separación de la grasa flotante en los tanques de sedimentación final ha sido un problema en algunas plantas de tratamiento que ejecutan los procesos a alta velocidad. Esto se ha atribuido al escaso tiempo de contacto del residuo con las limitadas cantidades de cúmulos biológicos que destruyen los agentes emulsificantes presentes, pero que no tienen suficiente capacidad de adsorción para retener la grasa que se libera, ni tiempo para oxidarla. Como resultado, en condiciones de quietud, la grasa se libera libremente, como ocurre en los tanques de sedimentación final o en las aguas receptoras. Las grasas y aceites se miden en términos de mg/lit.

### 1.2.3 Propiedades Bacteriológicas.

#### 1.2.3.1 Coliformes Totales.

Son todas las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, gram negativas, que no forman esporas, en forma de bastón que fermentan la lactosa con formación de gas en 48 horas a 35 °C <sup>11</sup>. El grupo de coliformes totales se compone de *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* u otros. La diferencia entre coliformes totales y coliformes fecales es su capacidad o incapacidad de crecer a 45 °C.

---

<sup>11</sup> Standard methods de Greenberg et al., 1992

Para los recuentos bacterianos en aguas potables, se utiliza el método del número más probable (NMP) por diluciones múltiples. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber halle cero colonias de coliformes por 100 ml de agua.

#### 1.2.3.2 Coliformes Fecales.

Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos. La *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del hombre y en el de otros animales de sangre caliente. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte.

Formas patógenas de *Escherichia* y de otras bacterias (que por tener forma similar se denominan genéricamente coliformes fecales) se transmiten, entre otras vías, a través de las excretas y comúnmente por la ingestión o el contacto con agua contaminada. La *Escherichia* no sobrevive mucho tiempo en agua de mar, pero otros coliformes fecales sí, por lo que suelen reportarse en conjunto y ambos conforman un indicador de la contaminación bacteriológica de las playas.

Los recuentos bacterianos en agua potable, se utiliza el método del Número Más Probable (NMP) por diluciones múltiples o el método de Filtro de Membrana (FM). Y se expresan en NMP / 100 ml.

### **1.3 Historia del Café y su Llegada a El Salvador**

Las plantas de Café son originarias de la antigua ETIOPIA en la República de Yemen.<sup>12</sup>

Es fácil confundirse con el origen verdadero del café, ya que antiguas leyendas sobre el cultivo y la costumbre de tomar café provienen de Arabia.

La más fuerte y aceptada de las leyendas acerca del descubrimiento del café y la bebida del café es la que hace referencia a un pastor llamado Kaldi. La leyenda dice que Kaldi se dio cuenta del extraño comportamiento de sus cabras después de que habían comido la fruta y las hojas de cierto arbusto. Las cabras estaban saltando alrededor muy excitadas y llenas de energía. El arbusto del que Kaldi pensó que sus cabras habían comido las frutas tenía como frutas parecidas a las cerezas. Entonces Kaldi decidió probar las hojas del arbusto y un rato después se sintió lleno de energía.

Kaldi después llevó algunos frutos y ramas de ese arbusto a un monasterio. Allí le contó al Abad la historia de las cabras y de como se había sentido después de haber comido las hojas. El Abad decidió cocinar las ramas y las cerezas; el resultado fue una bebida muy amarga que él tiró de inmediato al fuego. Cuando las cerezas cayeron en las brazas empezaron a hervir, las arvejas verdes que tenían en su interior produjeron un delicioso aroma que

---

<sup>12</sup> Historia y Economía del Café en Colombia. Instituto Colombiano del Café. 2000

hicieron que el Abad pensara en hacer una bebida basada en el café tostado, y es así como la bebida del café nace.

Los Arabes fueron los primeros en descubrir las virtudes y las posibilidades económicas del café. Esto fue porque desarrollaron todo el proceso de cultivo y procesamiento del café y lo guardaron como un secreto. Los Arabes también trataron de evitar la extradición de cualquier semilla de café.

El café comenzó a conquistar territorio en el mundo como la bebida favorita en Europa, y llegó a Italia en 1645 cortesía del comerciante Veneciano Pietro Della Valle. Inglaterra comenzó a tomar café en 1650 gracias al comerciante Daniel Edwards, quien fue el primero que abrió un establecimiento de venta de café en Inglaterra y en Europa.

El café llegó a Francia a través del Puerto de Marsella, pero solamente en grano. En 1660 algunos comerciantes de ese puerto quienes sabían del café, sus atributos y efectos por sus viajes alrededor del mundo, decidieron llevar unos cuantos sacos desde Egipto y por 1661 la primera tienda de café fue abierta en Marsella.

La primera planta de café de Francia fue comprada por un miembro del ejército Holandés. La planta fue dada al rey Luis XIV en la ciudad de Marly en 1712. Desde Marly la planta fue enviada a Paris donde prosperó y produjo unos pocos granos pero pronto murió.

Luego de conseguir mas plantas y bajo una cuidadosa supervisión, la planta de café creció. Después el cuidado de la planta fue dado al Jardín Botánico de París bajo el cuidado del Dr. Chirac. En 1723, el Dr. Chirac dio una de las plantas a un miembro del ejercito Francés, Gabriel de Clieux para que la llevara a las colonias francesas en América, específicamente a la isla de Martinica.

El café creció bien en Martinica y tan pronto como los registros pueden decir todo el café creció en toda América originado de la planta llevada por Gabriel de Clieux

El café fue introducido en El Salvador por comerciantes extranjeros, a finales del siglo XVIII y a principios del siglo XIX cuyo cultivo se localizó en tres zonas, occidental, central y oriental. En estas zonas se producen 3 tipos de café en función de su altitud y clima, clasificándose en:

- a) Central Estándar o Bajío (450 – 950 msnm)
- b) Central Altura o Media Altura (950 – 1300 msnm)
- c) Estrictamente Altura o Altura (1300 – 2000 msnm)

Dependiendo de la altura, así es la calidad del café que se cosecha.

Los departamentos con mayor cultivo y producción de café son Santa Ana, Ahuachapán, La Libertad, Usulután, San Miguel y San Vicente.

Los principales mercados internacionales de café son: Canadá, Estados Unidos, Alemania, Bélgica, Luxemburgo, Jamaica, Italia, Rumania, Japón y Holanda. El Salvador exporta a estos países la producción de café, y se concluye que este es y seguirá siendo una importante fuente de divisas que sustenta la economía nacional. Por lo que se justifica efectuar estudios técnicos para introducir cambios en el proceso de beneficiado, con el objeto de minimizar el consumo de agua, evitando así la contaminación de las aguas superficiales y del medio ambiente en general.

#### **1.4 Datos Técnicos del Café.**

Familia: Rubiaceae (Rubiácea).

Nombre científico: *Coffea arabica* L.

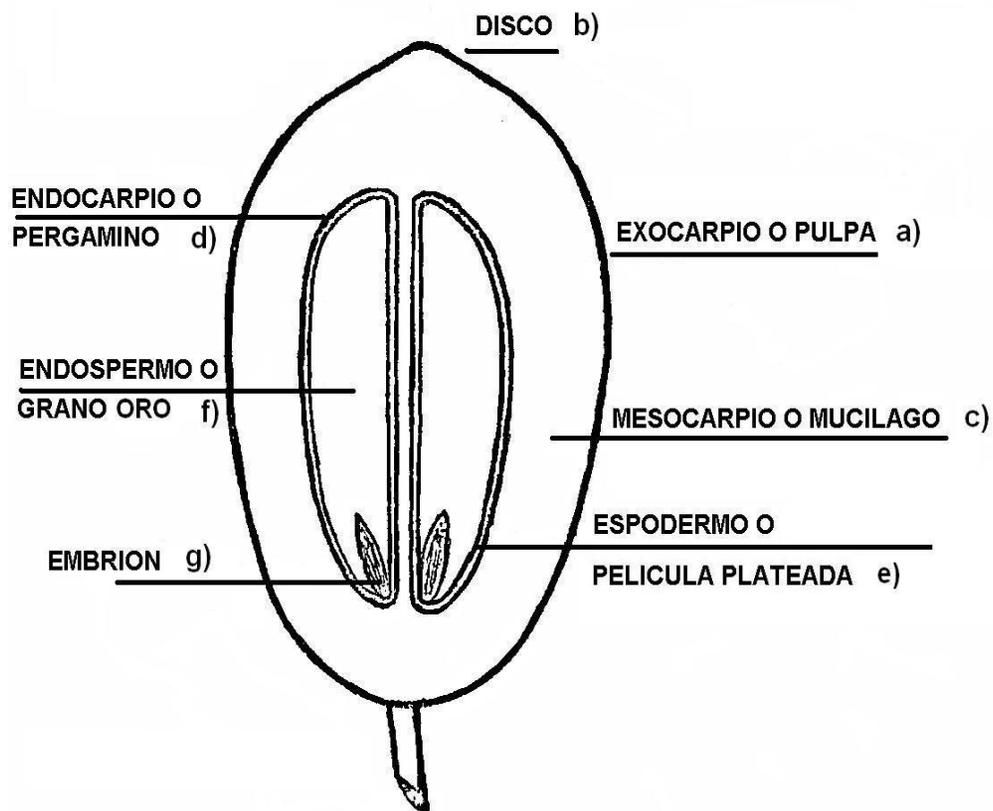
Nombre común en inglés: coffee, arabicu coffee.

El fruto madura entre los meses de Octubre y Marzo, durante los cuales su color cambia de verde a amarillo y finalmente al rojo intenso; época en la cual se realiza su recolección y beneficiado.

Las partes de que consta son:

- a) Epicarpio, exocarpio o pulpa
- b) Disco
- c) Mesocarpio o mucílago
- d) Endocarpio o pergamino

- e) Tegumento seminal, espodermo o perispermo (película plateada)
- f) Endospermo, Almendra o grano oro
- g) Embrión



**Figura 5 Corte Esquemático del Grano de Café<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> Caracterización de las Aguas Residuales del Beneficiado de Café. Morales de Cordero. Costa Rica 1979

**Tabla 1 Composición del Grano de Café Cereza.<sup>14</sup>**

COMPONENTE	PROMEDIO %
AGUA	9 -12
CENIZAS	4
NITROGENO	12
CELULOSA	24
AZUCAR	9
DEXTRINAS	1 – 15
GRASAS	12
ACIDO CAFETANICO	8 – 9
CAFEINA	0.7 – 1.3
EXTRACTO SIN NITROGENO	18
ACEITE ESENCIAL	0.7
TEOFILINA	TRAZAS
TEOBROMINA	TRAZAS

Descripción botánica: Arbusto: leñoso, hasta de 7 m de altura. Tallo: delgado y recto. Hojas: perennes, opuestas, lanceoladas. Flores: sésiles, infundibuliformes, blancas, fragantes, reunidas en racimos axiales. Fruto:

<sup>14</sup> Aguas Residuales Teorías, Aplicaciones y Tratamiento. Nelson L. Nemerow, Ed. H. Blume. 1977

globoso, semilla ovalada, cóncavas de un lado con un surco longitudinal en el centro.

Origen y otros aspectos: originario de Etiopía en África. Se cultiva en muchos países tropicales, principalmente en Suramérica. Gracias a su agradable aroma y sabor, se consume en forma masiva como bebida estimulante.

Usos en medicina tradicional: es tomado como bebida estimulante para facilitar el trabajo mental, vigorizar y activar el sistema nervioso. Se usa como diurético, tónico, febrífugo, vasodilatador, digestivo, antidiarreico, antinarcótico, antiemético, astringente, tónico de las encías, también se dice que disminuye la somnolencia producida por la fiebre tifoidea. El café carbonizado y pulverizado, en dosis de una cucharadita por día, se usa para curar de la apendicitis.

Composición química: cafeína (1 a 1,3 %), taninos, ácido clorogénico, grasas, azúcares, pentosanos y otras sustancias.

Propiedades de algunos compuestos de la bebida de café comprobadas científicamente: la cafeína aumenta el efecto del paracetamol y de la aspirina y produce una sensación de bienestar. La trigonelina actúa en el tratamiento de enfermedades hepáticas. El ácido benzoico es antiséptico, expectorante, analgésico, antitérmico y antiinflamatorio, propiedad en la que presenta una actividad similar a los salicilatos. El ácido ferúlico es analgésico, antiagregante plaquetario, antidismenorreico y antiespasmódico. El salicilato de metilo es

analgésico, antitérmico y antiinflamatorio. El ácido cafeico es antiséptico. El quercetol o quercetina es antihemorrágico y antiagregante plaquetario. Como antiagregante plaquetario inhibe el metabolismo del ácido araquidónico y estimula la secreción de prostacinas las cuales son los más potentes antiagregantes secretados por el endotelio vascular, estimulan la adenilciclase e incrementan los niveles de AMPc; se produce así una actividad antiagregante plaquetaria, pero al mismo tiempo es tóxico, muestra actividad cronotrope, antiarrítmica y antiviral. Es antiinflamatorio, antialérgico, antiherpético, antioxidante, protector capilar, hipotensor, relajante del músculo liso y antidiarreico. El kaempferol es antihipertensivo. La escopoletina es cronotrope negativo e hipotensor. El ácido clorogénico es estimulante, expectorante, diurético, colerético, antihepatotóxico. La cafeína, la teofilina y la teobromina son relajantes del músculo liso bronquial y resultan beneficiosas en la evolución de las neumopatías, asma bronquial y tos<sup>15</sup>

Investigaciones realizadas entre 1985 y 1992 en el Hospital Universitario de Copenhague, Dinamarca, demostraron que los consumidores de más de nueve tazas diarias de café corren menos riesgos de afecciones cardíacas que los que consumen de una a cuatro tazas. Estas investigaciones comprueban el poder diurético y reductor del café, posiblemente debido a la cafeína que contiene.

---

<sup>15</sup> Robineau, 1991; Lagos-Witte y Cambar, 1994; Wren, 1994

## **1.5 Generalidades del Proceso de Beneficiado del Café.**

Se conocen dos métodos para el beneficiado de café: método seco y método húmedo; siendo el más usado en la actualidad el segundo.

Luego que el café cereza es recibido en los beneficios, este es clasificado para que los frutos de más alta calidad sean transportados hacia el proceso de Beneficiado por cualquiera de los dos métodos. Después del proceso, el café oro se vuelve a clasificar para ser almacenado y luego tostado para la venta a nivel mundial.

### **1.5.1 Beneficiado Húmedo.**

El beneficiado húmedo es más costoso y requiere más instalaciones, equipo, maquinaria y conocimiento que el método seco; pero el producto que se obtiene por método húmedo es de calidad muy superior. Su principal requerimiento es un abundante abastecimiento de agua y de preferencia el beneficio se instala en un nivel tan bajo como sea conveniente a fin de eliminar el costo del bombeo del agua.

Por medio del proceso de beneficiado húmedo se obtiene una calidad excelente del café y mejor precio de venta. Este método se emplea en El Salvador y para el cual se necesita una gran cantidad de agua. Los principales usos del agua en el beneficiado del café son:

- a) Transporte hacia los pulperos
- b) Transporte de la pulpa hacia fuera del beneficio

- c) Transporte de los granos hacia las pilas de fermentación
- d) Lavado del café fermentado
- e) Otras operaciones como separación de los flotes, separación de piedras, clasificación hidráulica de los granos y funcionamiento de calderas.

Aproximadamente un 30% del agua utilizada en un día se emplea en despulpar el fruto y en transportarlo. El 70% restante se emplea en el lavado del café fermentado (agua de lavado), y resulta cargado de las sustancias provenientes de la degradación de la pectina, principalmente el mucílago.

El uso del agua implica su recirculación hasta que alcanza cierta proporción de sólidos cuando se diluye con agua limpia desechando así su volumen equivalente. Estas partes de las aguas de desecho se denominan aguas mieles, y presentan un color pardo rojizo y contiene la mayor parte de las sustancias solubles de la pulpa y el mucílago.

Las etapas del beneficiado húmedo de café son:

- a) Despulpe
- b) Fermentación o Desmucilaginado
- c) Secado
- d) Trilla
- e) Clasificación
- f) Escogida

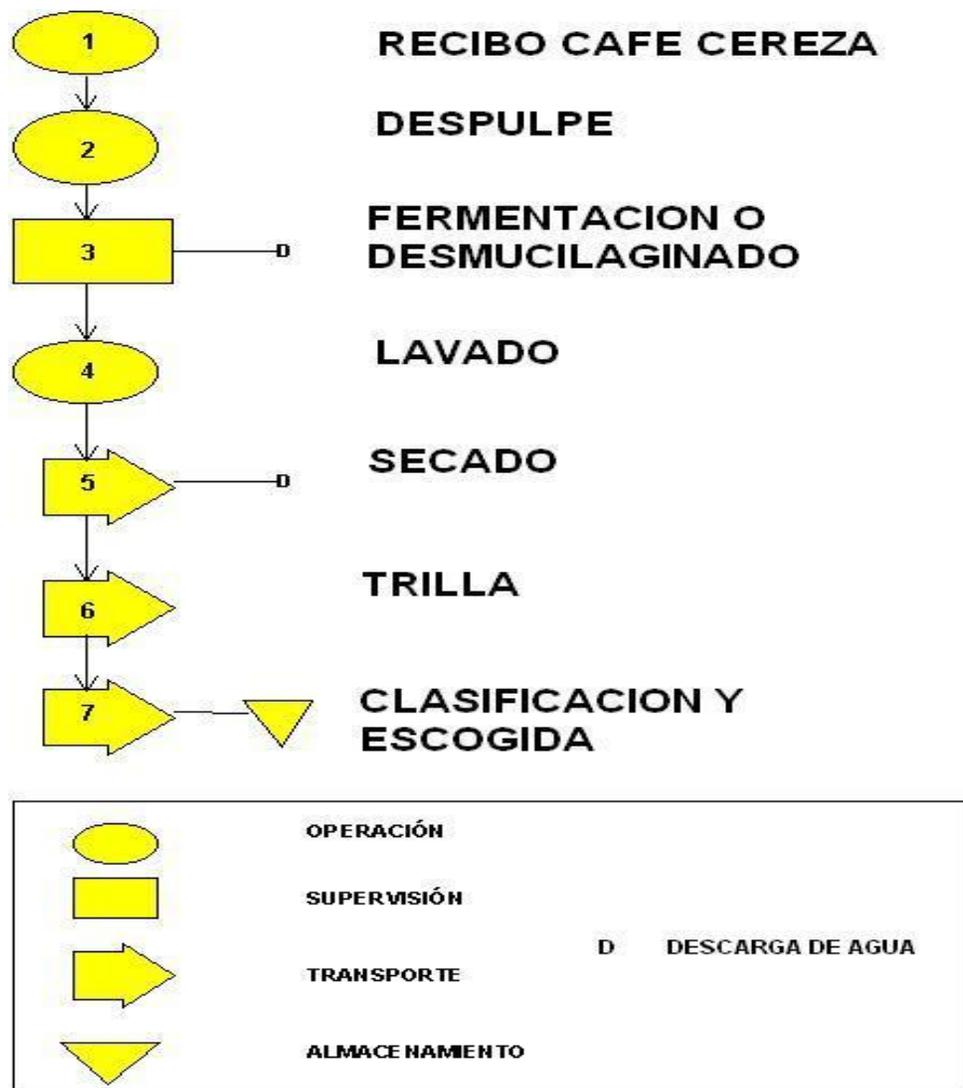


Figura 6 Proceso Productivo del Beneficiado Húmedo de Café<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Flujo del Proceso Productivo y Escalas de Producción. Instituto Colombiano del Café. 1998

a) Despulpe: Luego del recibimiento, el café cereza es almacenado en pilas o tanques donde permanece toda una noche y comienza a ser procesado en la mañana del día siguiente. Dicho café, tiene ya de 14 a 20 horas de haber sido colectado del árbol.

Esta operación lleva como propósito, la remoción de las partículas blandas del grano de café maduro, que son la pulpa y cierta parte del mucílago, para lo cual requiere el empleo de agua como conductor mecánico de estas partes. Esta operación requiere el empleo de máquinas, llamadas pulperos; existiendo las llamadas de repaso en donde la remoción de la pulpa es total.

La pulpa es el desecho que potencialmente causa más contaminación, por su alto contenido orgánico, pero con un buen tratamiento tienen usos como fertilizante, obtención de biogás etc. Cuando la pulpa se almacena en sitios abiertos, permite el desarrollo de moscas y otros insectos.

La razón más importante para extraer la pulpa de los desechos es para reducir la posibilidad de serios problemas de contaminación en los cuerpos receptores.

b) Fermentación: el objetivo de esta etapa, es el de remover y convertir el mucílago, que es la materia insoluble y gelatinosa que recubre el grano de café; en un producto soluble en agua, que facilita la remoción del grano.

El grano cubierto de mucílago es depositado en pilas de fermentación, las cuales generalmente son hechas de ladrillo. Este paso es el más delicado y tiene mucha influencia sobre la apariencia, calidad y precio del producto final.

El tiempo que dura la fermentación en la mayoría de los casos depende de varios factores ambientales, pudiendo ser mayores que 20 horas. La fermentación transforma el mucílago de un hidrogel a un hidrosol, el cual es fácilmente eliminado mediante lavado con agua.

En El Salvador, por lo general, lo único que se hace para acelerar la solubilización del mucílago, es transportar el café a las pilas de fermentación mediante aguas de despulpe que han sido recirculadas varias veces.

Es posible además, emplear aditivos químicos como ácido sulfúrico, cal, carbonato de sodio, soda cáustica al 2%. Se ha demostrado que la soda cáustica es el aditivo químico más efectivo, pues desintegra rápidamente el mucílago. La cantidad de agua requerida para lavar el café fermentado, lógicamente es igual a la cantidad empleada con café tratado químicamente.

Para el uso de soda cáustica, aproximadamente se requiere 1000 litros de solución al 1% para tratar 2500 kg de café despulpado, requiriendo un poco más de una hora para terminar el proceso. Esta operación es conocida como Desmucilaginado.

Lavado: este proceso tiene por objeto lavar con agua limpia el grano del cual se ha desprendido el mucílago por fermentación o por procesos químicos.

Este es el paso dentro del beneficiado húmedo que emplea más agua sin poder reutilizarse, ya que se requiere que sea limpia.

En general esta operación se hace mediante lavadoras mecánicas, significando un consumo aproximado de unos 10 a 13 litros de agua por kilogramo de café lavado.

c) Secado: por lo general esta operación se lleva a cabo en patios de secado, mediante exposición solar. Aproximadamente se requiere un área de 7 a 11 metros cuadrados de patio para secar 100 kg de café oro y un promedio de 13 días para alcanzar la humedad media del 13%, sin embargo, estos datos dependen de la cantidad de aire y sol que reciba el café, así como el espesor de la capa de café en los patios. Este proceso puede acelerarse con el uso de maquinas presecadoras y secadoras.

Con esta operación el grano de café pierde humedad y afloja la última cubierta llamada Pergamino.

d) Trilla: en este paso se desprende el pergamino mediante una máquina similar a los despulpadores y en las que el grano es friccionado para remover el pergamino. Este puede utilizarse como combustible en las secadoras.

El pergamino es celulosa pura y no causa problemas sanitarios o ambientales.<sup>17</sup>

Clasificación: se realiza con el grano trillado y se basa en forma, tamaño, peso, color e integridad del grano; separando diferentes cualidades la cual implica diferentes precios.

### 1.5.2 Beneficiado Seco

El beneficiado seco se practica en lugares donde el agua es muy escasa o en áreas subdesarrolladas donde se cultiva el producto en forma extensiva y la calidad no es muy considerada.

Mediante este procedimiento se obtienen los llamados cafés “naturales”, “fuertes” o “corrientes”, considerados de inferior calidad que los anteriores.

El beneficio seco es el proceso industrial mediante el cual a partir del café cereza se obtiene el café oro.

En este sistema, se exponen los granos de café cerezas recolectados a la acción del sol, durante varios días, hasta que se seca (bola seca).

Luego el café a preparar, se deposita en una tolva que alimenta a las zarandas de limpieza previa, para la separación de tierra, piedras, palos, metales, etc.

---

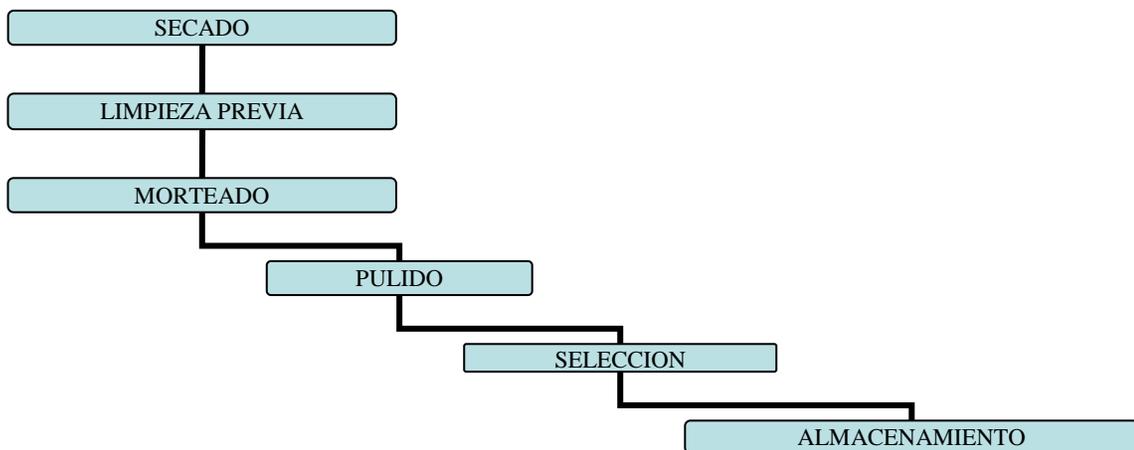
<sup>17</sup> Guzmán Mazariego, María Raymunda y otros. Importancia de los Desechos Líquidos del Beneficiado de Café como Contaminantes de las Aguas. UES 1981

El morteoado elimina la cascarilla, pajilla o pergamino del café, por fricción o desgarramiento. La capacidad de morteoado define la capacidad del beneficio seco en qq/hr. Que se realiza en maquinas diseñadas para este fin.

Después el café es pulido en otras maquinas para quitarle la película plateada.

Inmediatamente después procede la clasificación por tamaño, forma y densidad, a partir de aire y vibración, así como una clasificación por color, a partir de equipos electrónicos en la mayoría de los casos, para así enviar a exportación la calidad que cada mercado exige.

El café oro, se envasa en sacos de yute, para almacenarse acomodados en estibas, montados en tarimas de madera. Los almacenes mantienen una humedad relativa del 55 al 60 por ciento, a temperaturas de entre 22 y 30 grados centígrados.



Proceso Productivo del Beneficiado Seco de Café.

## **1.6 Contaminantes en las Aguas de Lavado del Café y la Pulpa.**

En El Salvador existe un gran número de beneficios húmedos de café, que originan gran cantidad de desechos sólidos (pulpa y pergamino) y de desechos líquidos (aguas de despulpe y aguas mieles), cuya disposición adecuada o no, ha sido siempre motivo de polémica entre los beneficiadores y las instituciones de gobierno como: el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).

Estos desechos son causantes de alteraciones en el medio ambiente, con repercusiones en la salud de las personas que habitan los sitios aledaños en donde son dispuestos, como proliferación de insectos, malos olores y mal aspecto paisajístico. Pero este problema no es específico de El Salvador, sino que es característico de los países en donde se utiliza el beneficiado húmedo para procesar café, con la diferencia en el grado de atención que se le presta a cada uno de ellos.

Se considera que la contaminación por estos desechos se pudiera evitar en parte, si se les diera aplicaciones de uso como subproductos, y no tratarlos como algo que ya no se puede utilizar.

Las características de los desechos varían de un beneficio a otro, así como también dependen del periodo en que se analicen. Los resultados son influidos en forma significativa por la cantidad de agua que se utiliza para el

beneficiado total; lo cual sugiere que las alternativas de solución del problema deben adecuarse a las condiciones de cada beneficio.

Cada beneficio emplea diferentes cantidades de agua para el lavado de una unidad de peso, pero sin embargo se puede considerar una media de 9 m<sup>3</sup> de agua por cada 100 kg de café cereza.<sup>18</sup>

La temporada de beneficiado coincide con la estación seca; es decir la época de caudales mínimos en los ríos, baja capacidad de dilución de los mismos y de mayor demanda de aguas para riego. Como resultado de todas las etapas de la fase húmeda; grandes volúmenes de agua contaminada son vertidas a los ríos y quebradas por los beneficios de café, lo cual provoca altas contaminaciones y degradación del ambiente.

---

<sup>18</sup> Góchez Staben, J.E., Contaminación de las aguas por los desechos líquidos de beneficios de café, Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas 1974.

**Tabla 2 Características Típicas en las Aguas Residuales de los Beneficios de Café <sup>19</sup>**

Parámetro determinado	Agua de despulpe del proceso	Agua de lavado de Fermentación	Agua de lavado mecánicamente
DQO mg/L	12410-16200	8100-13200	15200-21100
DBO mg/L	3450-9420	5300-7100	9520-12100
Sólidos totales mg/L	6200-8600	4100-5200	7920-10300
Sólidos volátiles.	4620-6050	2980-4050	5300-7610
N_NH3 mg/lt	14-20	11-17	18-27
Fósforo total mg/lt	20-25	13-19	21-30
Fenoles mg/L	18-55	ND	ND
pH	3.5-4.5	4.2-5.0	4.1-4.7

#### 1.6.1 Contaminantes en las Aguas de Despulpe.

Es el agua que se utiliza en la primera etapa en el beneficiado y remoción de la pulpa del café, dejando al grano únicamente con un gel adherido al grano llamado mucílago.

Las aguas del despulpado contienen una gran cantidad de sólidos sedimentables, azúcar y sobre todo alto contenido de materia orgánica como lo

<sup>19</sup> Instituto Superior de Ciencia y Tecnología de La Habana

es la pulpa de café que se desintegró en el remojo, que contribuyen a una alta contaminación de los cuerpos receptores de agua por la alta demanda de oxígeno que estas aguas poseen.

**Tabla 3 Características Fisicoquímicas Típicas de las Aguas de Despulpe<sup>20</sup>**

PH	4.2
Temperatura	27 °C
OD	0 mg/lit
DBO	20000 mg/lit
DQO	16000 mg/lit
Sólidos Totales	13881 mg/lit
Sólidos disueltos	10924 mg/lit
Sólidos Suspendidos	2960 mg/lit
Sólidos Sedimentables	280 mg/lit
Sólidos Volátiles	9900 mg/lit
Sólidos Totales Fijos	3970 mg/lit

#### 1.6.2 Contaminantes en las Aguas Mielles.

Proviene del lavado de café fermentado en la etapa de remoción del mucílago. En algunos beneficios, esta agua se desecha después de transportar los granos a los patios, y se utiliza también en el despulpe y en el transporte de pulpa o transporte de café despulpado. Estos desechos son más diluidos y

<sup>20</sup> Góchez Staben, J.E., Contaminación de las aguas por los desechos líquidos de beneficios de café, Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas 1974.

débiles en relación a la demanda bioquímica de oxígeno al compararlas con las agua de despulpe; pero también tienen bastante material coloidal gelatinoso de la degradación de la pectina y otros productos de la fermentación.

La siguiente tabla presenta los resultados típicos de caracterización de contaminantes de las aguas mieles del lavado.

**Tabla 4 Características Fisicoquímicas Típicas de las Aguas Mieleles <sup>21</sup>**

PH	4.5
Temperatura	27.5 °C
OD	0 mg/lit
DBO	5000 mg/lit
DQO	13000 mg/lit
Sólidos Totales	6960 mg/lit
Sólidos Disueltos	3450 mg/lit
Sólidos Suspendidos	3503 mg/lit
Sólidos Sedimentables	-
Sólidos Totales Fijos	1730 mg/lit
Sólidos Totales Volátiles	5220 mg/lit

### 1.6.3 Contaminantes de la Pulpa del Café.

El desecho sólido que ocasiona mayor problema es la pulpa, debido a que es materia orgánica, que entra en estado de descomposición. La cascarilla del pergamino no es fuente de contaminación porque es celulosa que no se

<sup>21</sup> Góchez Staben, J.E., Contaminación de las aguas por los desechos líquidos de beneficios de café, Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas 1974.

degrada y se le da un gran uso al quemarla en las calderas de los beneficios sustituyendo a la leña.

La pulpa del café está compuesta por el epicarpio y parte del mesocarpio del fruto. La misma cuando es llevada a los depósitos, posee cerca de un 85% de humedad. La pulpa de café contiene entre otras cosas cantidades importantes de cafeína la que representa cerca del 0.8% de su peso seco.

La pulpa ocasiona un problema de contaminación, que ha mejorado con el tiempo conforme los industriales dueños de beneficios han tomado conciencia de los daños provocados al deshacerse o disponer de ella en una forma insanitaria. Se menciona que, antes, en países como Costa Rica la pulpa era desechada a los ríos junto con las aguas mieles, pero luego, atendiendo recomendaciones, fue separada de las aguas mieles, para darle una disposición distinta. Es de suponer que si la pulpa era desechada a los ríos, la contaminación provocada era mucho mayor que la ocasionada solo por las aguas mieles, debido a la gran demanda bioquímica de oxígeno que se requiere para su biodegradación.

Las cantidades de pulpa que se producen en el beneficiado húmedo son enormes. Según resultados experimentales<sup>22</sup>, se observa que 1 kilogramo de café cereza origina 0.38 kilogramo de pulpa, si por ejemplo, la producción de

---

<sup>22</sup> Góchez Staben, J.E., Contaminación de las aguas por los desechos líquidos de beneficios de café, Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas 1974.

café cereza para 1981 fue de 18,200,000 qq la cantidad de pulpa producida fue de 6,116,000 qq y disponer adecuadamente esta cantidad si es un problema.

Actualmente, el principal motivo por el que la pulpa es un problema serio, es porque así como se acumula conforme se va produciendo el beneficiado de café, crea todas las condiciones ideales para que sea un criadero de moscas, que serán luego las transmisoras de muchas enfermedades gastrointestinales en las personas.

**Tabla 5 Caracterización de Contaminantes de la Pulpa de Café<sup>23</sup>**

PULPA	47,000 ppm DBO
AZUCAR EN LA PULPA	8 % DE SU PESO

---

<sup>23</sup> Aguas Residuales Teorías, Aplicaciones y Tratamiento. Nelson L. Nemerow, Ed. H. Blume. 1977

### **1.7 Consecuencias del Vertido de las Aguas Residuales del Beneficiado de Café a los Cuerpos Receptores.**

Como se analizó anteriormente el agua residual de los beneficios de café contiene altas cantidades de materia orgánica que al ser vertidas a los cuerpos receptores implica las siguientes consecuencias:

**Aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Agua:** Debido a la diversa y gran población de microorganismos que necesitan oxígeno para vivir, reproducirse y degradar la materia orgánica,

**Disminución del Oxígeno Disuelto en el Agua:** Debido a que los millones de microorganismos presentes en el agua consumen grandes cantidades de oxígeno para degradar la materia orgánica.

**Disminución del Ph en el Agua:** La acidez del agua de despulpe, altera el ph de los cuerpos receptores, acidificando el agua de estos, cuyo hábitat se ve sensiblemente afectado a los cambios de ph.

**Alto Consumo de Agua regularmente proveniente de una fuente o cuerpo receptor cercano:** Los beneficios de café, para ahorrar costos, siempre están ubicados cerca de una fuente perenne de agua, en la época de beneficiado, estos consumen enormes cantidades de agua provenientes de estos, haciendo que el caudal disminuya considerablemente.

**Acidificación del Suelo Aledaño a los Cuerpos Receptores:** El agua residual al ser vertida a los cuerpos receptores o a terrenos, disminuye sus

nutrientes naturales y sus cualidades reproductivas. Las hojas de los árboles y arbustos se queman, y los tallos presentan grosores inadecuados.

**Afectaciones a la Flora y Fauna Acuática:** Por falta de oxígeno y el cambio de pH en el agua, la muerte de los peces es inminente, así como de las plantas acuáticas.

**Erosión Potencial Debido a Cárcavas:** El aumento repentino del caudal por efecto de los vertidos, hace que en los terrenos, ríos o quebradas causen erosión en estos.

**Modificaciones en el Paisaje Acuático y Terrestre:** Por falta de OD en el agua, la proliferación de bacterias anaerobias hacen que el agua se descomponga rápidamente, y cuando es vertida en terrenos o quebradas el efecto de la erosión y los charcos de agua con sedimentos dejan un mal aspecto al paisaje natural.

**Aumento Exagerado de Sólidos en Suspensión en el Agua:** Debido a la elevada cantidad de materia orgánica flotante en el agua, esta se va azolvando y volviendo turbia, restándole belleza paisajística a los cuerpos receptores.

**Imposibilidad del Uso del Agua para Consumo Humano y Animal:** Por todos los factores mencionados anteriormente, es imposible el uso del agua, ni para consumo animal y mucho menos para consumo humano. Por lo que el cuerpo receptor se convierte en un enorme charco, producto de la contaminación.

## **1.8 Consecuencias del Vertido de Pulpa de Café a los Cuerpos Receptores.**

El vertido de la pulpa del café a los cuerpos receptores, implica consecuencias más graves que las aguas mieles, por ser esta completamente materia orgánica, que necesita una gran demanda bioquímica de oxígeno para ser degradada, y que además contiene azúcares que se fermentan rápidamente.

Las consecuencias del vertido de la pulpa son las siguientes:

Elevada DBO y disminución del OD en el agua: La pulpa por ser materia orgánica en su totalidad, requiere de millones de microorganismos que consumen rápidamente el OD en el agua,

Acelerada reproducción de microorganismos anaerobios: Al carecer el agua de oxígeno, las bacterias anaerobias se reproducen y descomponen rápidamente el agua. Y con los nutrientes naturales de la pulpa aceleran la eutrofización del cuerpo receptor acuático.

Criaderos de moscas: La pulpa al ser vertida en terrenos al aire libre, es el medio perfecto para la reproducción de moscas, que son atraídas por el contenido de azúcar.

Malos olores: Cuando la pulpa es depositada al aire libre, comienza a fermentarse por el contenido de azúcar, provocando que las bacterias

anaerobias liberen un olor fétido, que dependiendo de la cantidad del depósito, puede alcanzar distancias muy extensas.

Acidificación del suelo: Si la pulpa se amontona en un predio al aire libre esta va a escurrir agua que se infiltrara en el suelo, provocando la acidificación y evitando el crecimiento de plantas en sus alrededores.

## **2.0 PROBLEMAS COMUNES DE LOS SISTEMAS ACTUALES DE TRATAMIENTO EN LOS BENEFICIOS HUMEDOS DE CAFÉ A NIVEL NACIONAL.**

### **2.1 Sistemas de Tratamiento Actuales en los Beneficios de Café y sus Resultados.**

A través de los años, los beneficios de café en El Salvador han tratado de mitigar los impactos ambientales producidos por las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores, con sistemas que van de acuerdo a la disponibilidad de recursos económicos de cada beneficio. Así, se encuentran muchos beneficios de café con falta de sistemas de tratamiento, y de adecuada disposición de sus aguas residuales, y muy pocos cuentan con un sistema o más de tratamiento y de disposición, como se presenta en la tabla 6.

Se han realizado pocos estudios especializados de parte de los organismos gubernamentales como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en materia de contaminación producida por los beneficios de café, debido a la falta de recursos para invertir en censos de contaminación, monitoreo y pruebas de laboratorio

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), emite en 1993 el “Catastro de Vertidos Industriales y Agroindustriales de El Salvador”, coordinado por el Ing. Mario Montes Arias, donde señala los beneficios de café

que cuentan con sistemas de tratamientos de aguas residuales y tratamiento de la pulpa del café, donde deja en evidencia la falta de inversión en protección sanitaria y ambiental.

El estudio del Ing. Montes, identifica si dentro del beneficio de café existe un sistema de tratamiento del agua y la manera de la disposición de esta, así como de la pulpa. También identifica el tipo de contaminación que este genera.

**Tabla 6 Censo de los Tratamientos en los Beneficios de Café en El Salvador<sup>24</sup>**

DEPARTAMENTO	No. DE BENEFICIOS	TRATAMIENTO DEL AGUA	DESCARGA	OLOR	TRATAMIENTO DE LA PULPA
AHUACHAPAN	13	13 NINGUNO	10 RIOS 3 QUEBRADAS	13 MAL OLOR	8 ABONO 5 ENTERRAMIENTO
SANTA ANA	13	1 SEDIMENTADOR 5 POZOS DE ABSORCION 1 TRAT. PRIMARIO 6 NINGUNO	5 FOSA 6 RIOS 2 ALCANTARILLADO	9 MAL OLOR 4 TRAT.	3 RECICLAJE 4 NINGUNO 6 ABONO
SONSONATE	9	9 NINGUNO	7 LAG. OXIDACION 2 QUEBRADAS	6 MAL OLOR 4 TRAT.	9 NINGUNO
LA LIBERTAD	18	18 NINGUNO	9 LAG. OXIDACION 9 QUEBRADAS	17 MAL OLOR 1 TRAT.	9 NINGUNO 5 ABONO 4 ENTERRAMIENTO
SAN SALVADOR	1	NINGUNO	ALCANTARILLADO	MAL OLOR	NINGUNO
CHALATENANGO	3	3 NINGUNO	3 QUEBRADAS	1 MAL OLOR 2 TRAT.	2 ENTERRAMIENTO 1 NINGUNO
USulután	7	4 NINGUNO 1 PRIMARIO Y SEC. 2 SEDIEMNTADOR PRIM.	2 QUEBRADAS 4 LAGUNAS 1 LAG. OXIDACION	4 MAL OLOR 3 TRAT.	1 COMPOSTAJE 3 ABONO 3 NINGUNO
SAN VICENTE	1	NINGUNO	1 RIO	MAL OLOR	1 ABONO
SAN MIGUEL	15	1 CAL 1 SEDIMENTADOR PRIM. 2 PRIMARIO Y SEC. 2 LAGUNAS 1 CAMPO SECADO 8 NINGUNO	4 RIEGO 4 LAGUNAS 2 RIOS 2 TERRENOS 3 QUEBRADAS	9 MAL OLOR 6 TRAT.	3 ENTERRAMIENTO 6 ABONO 6 NINGUNO
MORAZAN	7	5 NINGUNO 1 CAL 1 LAGUNA	4 LAG. OXIDACION 2 QUEBRADAS 1 TERRENO	7 MAL OLOR	3 NINGUNO 1 ENTERRAMIENTO 1 ABONO 2 QUEBRADA
TOTAL	87	65 NINGUNO 22 TRATAMIENTO	19 RIOS 24 QUEBRADAS 7 TERRENOS 2 ALCANTARILLA 35 OTROS	68 MAL OLOR 19 TRAT.	29 ABONO 15 ENTERRAMIENTO 4 RECICLAJE 39 NINGUNO

<sup>24</sup> Montes Arias, Mario Wilfredo, Catastro de Vertidos Industriales y Agroindustriales en El Salvador, Trabajo para la OPS, tablas estadísticas, San Salvador 1993

**Tabla 7 Listado de Empresas Agroindustriales Generadoras de Desechos Sólidos, su Ubicación Geográfica por Municipio, el Volumen Generado y la Naturaleza del Mismo 2002.<sup>25</sup>**

DEPARTAMENTO		
Ahuachapán	<b>Desecho Sólido Generado</b>	<b>Volumen Sólidos m3</b>
BENEFICIO SAN MIGUEL	pulpa de café y cascarilla	466,385
GEPRO S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	4,858,184
J J BORJA NATHAN S A	pulpa de café y cascarilla	2,137,601
COAUSOLES DE R L	pulpa de café y cascarilla	10,182,754
Apaneca		
RECIBIDERO DE CAFE COEX S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	388,654
RECIBIDERO DE CAFÉ SOLA S A C V	pulpa de café y cascarilla	38,865
INDUSTRIAS DE CAFÉ S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ DAGLIO	pulpa de café y cascarilla	38,865
Atiquizaya		
RECIBIDERO S/N	pulpa de café y cascarilla	77,730
BENEFICIO SN LUIS	pulpa de café y cascarilla	38,865
Concepción Ataco		
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	77,730
RECIBIDERO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	77,730
RECIBID GRACIAS A DIOS S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBID DE CAFE H DE SOLA	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	77,730
El Refugio		
AHUASANTA	pulpa de café y Cascarilla	2,021,004
Jujutla		
FINCA Y BENEFICIO LOS AMATES	pulpa de café y cascarilla	23,785,670
BENEFICIO EL MOLINO ATACO	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO SAN JOSE	pulpa de café y cascarilla	38,865
San Pedro Puxtla		
RECIBIDERO LOS REYES	pulpa de café y cascarilla	116,596
RECIBIDERO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	77,730
RECIBIDERO DE CAFE LARIN		
HIJOS Y CIA	pulpa de café y cascarilla	77,730
RECIBID DE CAFE DAGLIO Y CIA	pulpa de café y cascarilla	77,730
Tacuba		
BENEFICIO NEJAPA	pulpa de café y cascarilla	1,943,273
RECIBID DE CAFE EL MOLINO	pulpa de café y cascarilla	77,730
Turín		
BENEFICIO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	38,865
Santa Ana		
BENEFICIO GALICIA	pulpa de café y cascarilla	3,692,220
OFICINA MONEDERO "M"	pulpa de café y cascarilla	310,923
BENEFICIO CANTARRANA	pulpa de café y cascarilla	505,251

- 2 Mejía Artiga, Cristóbal, Identificación de Empresas Agroindustriales generadoras de Aguas Residuales y Desechos Sólidos en El Salvador, MAG – MARN 2002

RECIBIDERO DE CAFÉ COEX S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO SAN CRISTOBAL	pulpa de café y cascarilla	155,461
DAGLIO Y COMPANIA S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	77,730
COPRA DE R L "M"	pulpa de café y cascarilla	1,243,695
BENEFICIO EL SAUCE S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	15,546,189
BENEFICIO EL MOLINO	pulpa de café y cascarilla	1,399,157
EXPORTADORA LIEBES S A DE CV	pulpa de café y cascarilla	116,596
EXPORTADORA SAN RAFAEL S A	pulpa de café y cascarilla	1,787,811
EXPROCOM S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	77,730
INDUSTRIAS IDEAL	pulpa de café y cascarilla	116,596
BENEFICIO LAS TRES PUERTAS	pulpa de café y cascarilla	1,904,408
BENEFICIO RIO ZARCO S A C V	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO DE CAFE H v DE	pulpa de café y cascarilla	77,730
TOSTADURIA DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	77,730
REGPA S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	2,603,986
TOSTADURIA EL PROGRESO	pulpa de café y cascarilla	116,596
COOP AGROINDUSTRIA TECANA	pulpa de café y cascarilla	893,905
RECIBIDERO DE CAFE EL CRISTO	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO 3 PUERTAS	pulpa de café y cascarilla	38,865
Coatepeque		
BENEFICIO EL MILAGRO	pulpa de café y cascarilla	194,327
Chalchuapa		
EXPORTADORA LIEBES	pulpa de café y cascarilla	77,730
RIO ZARCO	pulpa de café y cascarilla	77,730
SOC COOP DE	pulpa de café y cascarilla	8,744,731
El Congo		
AGRICOLA INDUSTRIAL	pulpa de café y cascarilla	1,865,542
BORGONOVO CAFE S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
COEX	pulpa de café y cascarilla	38,865
COOPERATIVA TECANA	pulpa de café y cascarilla	2,953,776
RECIBIDERO DE CAFE EL	pulpa de café y cascarilla	77,730
BENEFICIO SALCAFE	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFE EL	pulpa de café y cascarilla	38,865
El Porvenir		
BENEFICIO EL CARMEN	pulpa de café y cascarilla	1,360,291
San Esteban Salitrillo		
BENEFICIO DE CAFE	pulpa de café y cascarilla	77,730
BEXCAFE S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	2,720,583
BENEFICIO DE CAFE EL	pulpa de café y cascarilla	77,730
BENEFICIO DE CAFE LA	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO DE CAFE	pulpa de café y cascarilla	77,730
BENEFICIO DE CAFE	pulpa de café y cascarilla	77,730
Armenia		
BENEFICIO LA GLORIA	pulpa de café y cascarilla	7,384,440
Izalco		
RECIBIDERO DE CAFÉ UVA	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ H DE	pulpa de café y cascarilla	116,596
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	38,865
Juayúa		
BENEFICIO COOP LA	pulpa de café y cascarilla	2,331,928
COOPERATIVA LA	pulpa de café y cascarilla	21,725,800
BENEFICIO 98	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	38,865
Nahuizalco		

RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO DEL INCAFE	pulpa de café y cascarilla	388,654
VTA S/N	pulpa de café y cascarilla	116,596
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	77,730
Nahuilingo		
BENEFICIO TRES RIOS	pulpa de café y cascarilla	3,925,412
Salcoatitán		
BENEFICIO SANTA	pulpa de café y cascarilla	116,596
RECIBIDERO DE CAFÉ S A	pulpa de café y cascarilla	155,461
RECIBIDERO DE CAFÉ	pulpa de café y cascarilla	194,327
Nueva San Salvador		
INDUSTRIAS AGRICOLAS	pulpa de café y cascarilla	155,461
COBECAFE S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	1,165,964
COOPERATIVA SAN	pulpa de café y cascarilla	3,731,085
RECIBIDERO CHILATA	pulpa de café y cascarilla	77,730
BENEFICIO H DE SOLA S A	pulpa de café y cascarilla	310,923
RECIBIDERO DE CAFE H	pulpa de café y cascarilla	233,192
INDUSTRIAS DEL CAFE	pulpa de café y cascarilla	1,010,502
PAMEN S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	1,165,964
PAZ S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	38,865
REGPA S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	621,847
SAINSA DE C V	pulpa de café y cascarilla	77,730
SARMIENTO PAZ S A DE	pulpa de café y cascarilla	388,654
SARMIENTO PAZ S A DE	pulpa de café y cascarilla	544,116
SOC COOP DE	pulpa de café y cascarilla	194,327
SUPER INVERSIONES S A	pulpa de café y cascarilla	582,982
FIDEICOMISO WALTER	pulpa de café y cascarilla	2,137,601
Antiguo Cuscatlán		
BENEFICIO LA LAGUNA	pulpa de café y cascarilla	971,636
BENEFICIO LA LAGUNA	pulpa de café y cascarilla	2,720,583
CAFECO S A	pulpa de café y cascarilla	4,158,605
EXPORTADORA LIEBES	pulpa de café y cascarilla	15,623,920
AGROCOMERCIOS S A	pulpa de café	155,461
Ciudad Arce		
BENEFICIO EL DIVISADERO	pulpa de café	38,865
RECIBIDREO DE CAFE S/N	pulpa de café y cascarilla	38,865
BENEFICIO STA LUCIA	pulpa de café y cascarilla	116,596
RECIBIDERO EL BEJUCO	pulpa de café y cascarilla	155,461
COOPERATIVA S/N	pulpa de café y cascarilla	5,441,166
Comayagua		
BENEFICIO GERMANIA	pulpa de café y cascarilla	1,165,964
BENEFICIO 2 DE MARZO	pulpa de café y cascarilla	1,165,964
Chiltiupán		
SOC COOP CAFICULTOR	pulpa de café y cascarilla	466,385
Jayaque		
BENEFICIO EL PARAISO	pulpa de café y cascarilla	1,982,139

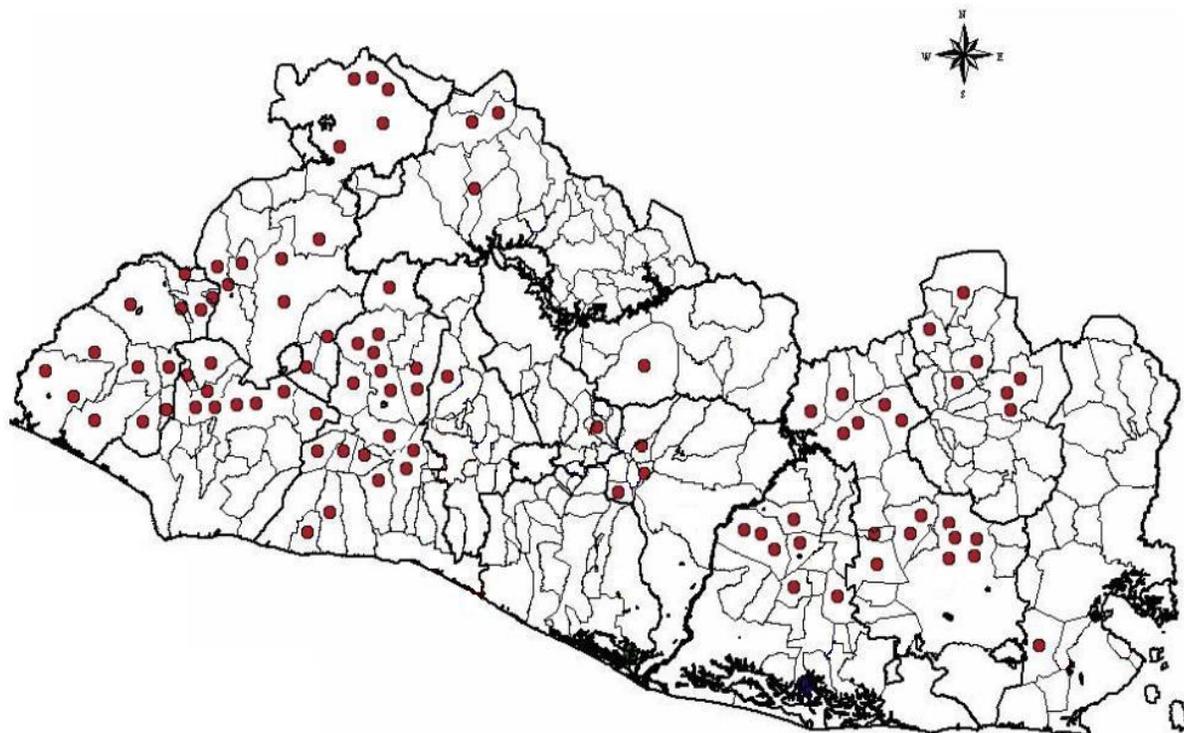
Jicalapa		
BENEFICIO LA PERLA	pulpa de café y cascarilla	349,789
San Juan Opico		
BENEFICIO VIVAGUA	pulpa de café y cascarilla	1,049,367
Quezaltepeque		
CAFECO S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	1,748,946
BENEFICIO ATAPASCO	pulpa de café y cascarilla	4,042,009
MECAFE S A	pulpa de café y cascarilla	38,865
Talnique		
BENEFICIO SAN CARLOS	pulpa de café y cascarilla	1,360,291
BENEFICIO DE CAFÉ S/N	pulpa de café y cascarilla	116,596
Tepecoyo		
BENEFICIO ESTELA	pulpa de café y cascarilla	272,058
BENEFICIO EL MANGO	pulpa de café y cascarilla	194,327
RECIBIDERO TEPECOYO	pulpa de café y cascarilla	2,720,583
BENEFICIO SAN ANTONIO	pulpa de café y cascarilla	1,554,618
SAN JOSE ACACHAPA	pulpa de café y cascarilla	194,327
San Salvador		
CAYRO S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	2,798,314
COOPERATIVA S/N	pulpa de café y cascarilla	233,192
CRISTIANI BURKAR S A	pulpa de café y cascarilla	544,116
ENRIQUE ALVAREZ S A	pulpa de café y cascarilla	932,771
LA GLORIA S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	155,461
MECAFE S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	3,148,103
MECAFE S A DE C .V	pulpa de café y cascarilla	544,116
MUYSHONDT AVILA S A	pulpa de café y cascarilla	6,840,323
Nejapa		
BENEFICIO SAN GERONIMO	pulpa de café y cascarilla	272,058
RECIBIDERO DE CAFE	pulpa de café y cascarilla	38,865
El Carmen		
COMPRA DE CAFE S/N	pulpa de café y cascarilla	77,730
San Pedro Nonualco		
BENEFICIO CODECANO DE	pulpa de café y cascarilla	3,303,565
Santa Maria Ostuma		
BENEFICIO Y FINCA	pulpa de café y cascarilla	1,282,560
Ilobasco		
RECIBIDERO DE CAFE UVA	pulpa de café y cascarilla	77,730
Guadalupe		
INDUSTRIAS AGRICOLAS	pulpa de café y cascarilla	38,865
RECIBIDERO DE CAFE S/N	pulpa de café y cascarilla	116,596
PRIETO S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	77,730
RECIBIDERO DE CAFE S A	pulpa de café y cascarilla	233,192
San Cayetano Istepeque		
BENEFICIO ACAHUAPA	pulpa de café y cascarilla	6,801,458
Berlín		
BENEFICIO BENEDICTO	pulpa de café y cascarilla	116,596
BENEFICIO LLACH	pulpa de café y cascarilla	116,596

California		
BENEFICIO CALIFORNIA	pulpa de café y cascarilla	233,192
Jucuapa		
COOPERATIVA DE JUCUAPA	pulpa de café y cascarilla	1,165,964
BENEFICIO SN SIMON	pulpa de café y cascarilla	38,865
Santiago de Maria		
BENEFICIO PLAN DEL	pulpa de café y cascarilla	233,192
ENG TECH S A DE C V	pulpa de café y cascarilla	1,360,291
BENEFICIO OROMONTIQUE	pulpa de café y cascarilla	2,215,332
San Miguel		
COMERCIAL PRIETO S A	pulpa de café y cascarilla	116,596
Ciudad Barrios		
CARLOS A BOILLAT	pulpa de café y cascarilla	505,251
AGENCIA D' CAFE PRIETO	pulpa de café y cascarilla	38,865
SOC COOP DE CAFETALEROS	pulpa de café y cascarilla	1,243,695
BENEFICIO JOSE RUTILIO	pulpa de café y cascarilla	932,771
Chinameca		
BENEFICIO GUADALUPE	pulpa de café y cascarilla	388,654
SOC COOP MARIAS	pulpa de café y cascarilla	1,748,946
Moncagua		
PRIETO S A	pulpa de café y cascarilla	7,773,094
Nueva Guadalupe		
BENEFICIO MONTE ALEGRE	pulpa de café y cascarilla	3,886,547

Los resultados obtenidos en la actualidad, son pocos, los sistemas empleados en los diferentes beneficios de café no son suficientes para evitar la contaminación de los cuerpos receptores del agua, ya sean terrestres o acuáticos.

## 2.2 Distribución de los Beneficios de Café en El Salvador.

Figura 7 Mapa de Distribución de Beneficios Húmedos de Café.<sup>26</sup>



<sup>26</sup> Montes Arias, Mario Wilfredo, Catastro de Vertidos Industriales y Agroindustriales en El Salvador, Trabajo para la OPS, tablas estadísticas, San Salvador 1993

## **2.3 Problemas en los Sistemas Actuales de Tratamiento de las Aguas Residuales.**

### 2.3.1 Problemas en las Lagunas de Secado.

#### 2.3.1.1 Descripción y Funcionamiento.

Las lagunas de secado o evaporación, tienen como función principal la de almacenar el agua residual y que se evapore lo mas pronto posible. Son depresiones de tierra donde se distribuye uniformemente el agua residual.

Generalmente se construye de poca profundidad de menos de un metro, y de gran extensión superficial. El fondo, generalmente es impermeable, para evitar la infiltración en el subsuelo.

Ya que no se cuenta con estructuras de drenaje en la parte inferior de las lagunas y el sobrenadante se decanta a través de vertederos, se suele agregar cal para estabilizar el agua de la laguna y que un sistema de rebalse, vierta el agua clarificada a un cuerpo receptor o se reutilice.

#### 2.3.1.2 Infiltración.

Las infiltraciones en las lagunas de secado, se producen debido a la mala impermeabilización del fondo por ser suelo natural y los factores perimetrales, la mala compactación, de la arcilla, hace que en prolongados tiempos de retención, atraviese la capa impermeable y se infiltre una parte en el subsuelo.

También, cuando existen grietas, ya sea en suelos compactados o suelos de concreto, afecta grandemente la contaminación de las aguas subterráneas.

#### 2.3.1.3 Criaderos de Insectos.

Cuando no se le da el mantenimiento apropiado a la laguna de secado y el lodo, pulpa y mucílago no se remueve y se trata aparecen los criaderos de moscas y otros insectos que se alimentan de la materia orgánica que contiene azúcar, los criaderos de insectos, generalmente se generan en las orillas de las lagunas y estos atraen a otros insectos.

#### 2.3.1.4 Generación de Lodos.

La falta de mantenimiento y limpieza de las lagunas, hacen que se generen cantidades excesivas de lodo orgánico, que hacen que la laguna pierda volumen, se formen mas criaderos de insectos y los malos olores sean muy fuertes debido a la fermentación de estos.

#### 2.3.1.5 Crecimiento de Maleza.

Al haber lodo orgánico e insectos propicia el crecimiento de maleza en los alrededores de las lagunas.

Es de recordar que la pulpa y mucílago contienen nutrientes como fósforo y nitrógeno para las plantas.

#### 2.3.1.6 Malos Olores.

La acumulación excesiva de lodo orgánico, en las lagunas de secado, hace que este comience a digerirse anaerobicamente en el fondo de la laguna, generando malos olores del ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ).

#### 2.3.1.7 Rebalse.

La acumulación exagerada de lodo orgánico por falta de remoción, reduce el espacio dentro de la laguna. Por lo cual esta no soporta los cambios bruscos de caudal y rebalsa de los alrededores.

#### 2.3.1.8 Tiempos de Secado.

Los tiempos largos de evaporación y retención del agua, hace que la laguna de secado se convierta en laguna de estabilización.

El mal dimensionamiento de la laguna de secado hace que el agua no se evapore en los tiempos de diseño y se acumule agua en exceso.

#### 2.3.1.9 Operación y Mantenimiento.

##### Operación.

Las lagunas de secado operan bajo condiciones de mucho sol y viento, que ayudan a la rápida evaporación del agua.

Para evaporar la mayor cantidad de agua posible durante el día se necesitan grandes extensiones superficiales, para que se aprovechen al máximo los rayos solares y minimizar la capa de agua.

### Mantenimiento.

- Se debe de remover constantemente la materia orgánica que se genera de los beneficios de café.
- Se debe limpiar adecuadamente los alrededores y los sistemas de rebose de la laguna para evitar empantamientos
- Se debe de contar con un sistema de adición de cal para estabilizar el agua, para que en el rebose y la disposición final, el agua llegue clarificada.
- En temporadas que no hay beneficiado de café, debe darse mantenimiento preventivo y correctivo a las lagunas para garantizar una buena operación durante la cosecha y beneficiado.
- Deben limpiarse los canales de transporte hacia las lagunas periódicamente.

### 2.3.2 Problemas en las Lagunas de Estabilización u Oxidación.

#### 2.3.2.1 Descripción y Funcionamiento.

Son las lagunas anaerobias, aerobias y facultativas que se emplean para este caso.

Las anaerobias son aquellas que en su proceso de estabilización, cultivan bacterias que no necesitan oxígeno disuelto para su periodo de vida.

Las lagunas aerobias necesitan del oxígeno disuelto para que las bacterias se reproduzcan y degraden la materia orgánica.

Las facultativas son un caso especial, donde dentro de ellas existen bacterias anaerobias y aerobias que degradan la materia orgánica. La descripción y el funcionamiento, se amplían en el capítulo III.

#### 2.3.2.2 Infiltración.

Es un problema muy común en lagunas de extensión superficial muy grande, que debido a los altos costos de impermeabilización, hace que esta sea inadecuada o en el peor de los casos, sea inexistente. La porosidad y las grietas en el suelo de las lagunas de estabilización hacen que el agua dentro de ellas baje de nivel haciendo que exista poca agua y sin cultivo de bacterias.

#### 2.3.2.3 Criaderos de Insectos.

Como en las lagunas de secado, estos se dan por la acumulación excesiva de lodo y por la falta de un tratamiento inmediato de estos, que por los contenidos de azúcar de la materia orgánica de las aguas mieles atraen los criaderos de moscas y otros insectos.

#### 2.3.2.4 Generación de Lodos.

Cuando existe una laguna aerobia, se dan los problemas de generación excesiva de lodos, ya que las bacterias que necesitan oxígeno, al transformar la materia orgánica, dejan residuos, que en grandes cantidades forman lodos.

Las lagunas facultativas, cuando no operan eficientemente pueden llegar a generar lodo excesivo, debido al desequilibrio de bacterias anaerobias.

#### 2.3.2.5 Crecimiento de Maleza.

Aparecen cuando el rebalse en los alrededores es continuo y que los nutrientes no removidos de las aguas, llegan a las orillas, empantanando el área cercana a las lagunas propiciando condiciones ideales para el crecimiento de maleza.

#### 2.3.2.6 Malos Olores.

Se dan siempre en las lagunas anaerobias y facultativas por sus características propias. También se puede presentar en las lagunas aerobias cuando estas operan deficientemente.

Estos olores siempre causan inconveniente en las comunidades aledañas a los beneficios de café.

#### 2.3.2.7 Rebalse

Ocurre cuando la laguna de estabilización no está diseñada para soportar cambios bruscos de caudal, y el sistema de tratamiento no cuenta con pilas homogenizadoras de caudal para evitar rebalse.

#### 2.3.2.8 Tiempos de Retención.

En el capítulo III, se amplía este aspecto importante para diseñar lagunas de estabilización.

Pero cuando los tiempos de retención son inadecuados, esto acarrea problemas en la calidad del efluente.

#### 2.3.2.9 Drenaje y Disposición Final.

Cuando en las lagunas no existen by pass, lagunas de emergencias o drenajes adecuados de rebose y disposición final, estas pueden rebalsar y contaminar los alrededores de las lagunas.

Cuando la disposición final no cuenta con un sistema adecuado de canales, este puede obstruirse y empantanar las orillas de la laguna.

#### 2.3.2.10 Operación y Mantenimiento.

##### Operación.

Las lagunas cualesquiera que fuese su naturaleza, tienen que operar bajo las condiciones de intemperismo, y dependiendo de la estación del año, así deben diseñarse para la condición más desfavorable.

Cuando una laguna opera en condiciones invernales, deberá diseñarse para temperaturas mas bajas y deberá sobredimensionarse por razones de lluvia.

En condiciones de verano, debería de considerarse los rayos solares y la turbiedad del agua para que la laguna trabaje en condiciones aerobias, anaerobias o facultativas. Este tema será ampliado en el capítulo III.

### Mantenimiento.

- Debería de limpiarse diariamente los elementos preliminares del tratamiento como rejas, desarenadores, medidores de caudal, etc. (en caso de que sea solamente la laguna de estabilización el sistema principal de tratamiento)
- Se deberá proporcionar a la laguna de las facilidades como caminos, servicios higiénicos, caseta para implementos, sala de operador.
- Mantener los alrededores limpios, de ser posible sin césped.
- Verificar diariamente los sistemas de rebose y drenaje.
- Remover diariamente la nata, espumas y grasas de las lagunas.
- Proveer al operador de balsas para navegar en la laguna, para propósitos de muestreo y limpieza superficial.
- Mantener áreas de seguridad cercadas alrededor de las lagunas para evitar que personas curiosas o animales se puedan ahogar o contaminar.

### 2.3.3 Problemas en las Plantas de Tratamiento Convencionales.

#### 2.3.3.1 Rejas.

Cuando no se diseñan adecuadamente las rejas, estas tienden a obstruirse regularmente, ocasionando la pérdida de carga dentro del sistema de tratamiento, por lo que limpiarlas diariamente resolverá este problema.

### 2.3.3.2 Medidores de Caudal.

El problema principal de cualquier medidor de caudal, es que pierda la geometría de la sección de control, ya sea orificio, vertedero o medidor parshall.

Esto ocurre por la acumulación de algas, lodo, basura en las secciones de control y se disminuye el área.

Cuando por la sección de control pasa demasiada arena, piedras, ramas, etc. Estos van desgastando la sección de control aumentando el área.

Para evitar lo anterior es necesaria la limpieza constante del medidor, también de proporcionarse mantenimiento a los elementos previos, como rejas y desarenadores.

### 2.3.3.3 Canales de Transporte

Con el tiempo los canales de transporte se erosionan, por lo cual los canales aumentan la rugosidad alterando la velocidad de flujo.

Para solucionar los problemas de reparación y mantenimiento de los canales, se deben de construir canales by pass paralelos.

También en el caso de tuberías, se debe de adaptar la solución de By pass para limpieza y reparación, lo anterior para mejorar el flujo de agua residual y el tratamiento.

#### 2.3.3.4 Desarenadores.

El problema de los desarenadores radica en la turbulencia que se genera en la entrada y en la salida de estos, en estas partes, la arena se levanta dentro del flujo, haciendo que esta no se sedimente y pase a las siguientes unidades. Por lo que un aumento de dimensiones en el canal desarenador, hará que este problema se solucione.

#### 2.3.3.5 Pilas de Homogenización.

El mal dimensionamiento de este elemento de tratamiento, hace que el caudal y la concentración de contaminantes no se homogenice, haciendo los tratamientos posteriores deficientes porque estos no están diseñados para soportar picos de caudal y carga contaminante,

#### 2.3.3.6 Tanques Sedimentadores.

Los problemas más comunes en los sedimentadores ocurren en la tubería del afluente, que se obstruye con facilidad ante cualquier cuerpo extraño.

También cuando existe exceso de natas y espumas en las superficies, produce problemas en los canales de rebose.

La extracción de lodos del elemento constituye problemas debido a que esta tubería se tapona fácilmente, dificultando la purga y limpieza del tanque, también el transporte de estos lodos al digestor puede constituir un problema debido a taponamientos en la tubería que transporta a estos.

Cuando no se diseñan correctamente, estos presentan problemas en la sedimentación de los sólidos, porque estos no tienen el espacio suficiente para llegar al fondo del tanque, también la turbulencia generada en la entrada del afluente al elemento, hace que los sólidos en el agua se mezclen, haciendo mas difícil la sedimentación.

#### 2.3.3.7 Filtros Biológicos.

Comúnmente un filtro falla cuando queda obstruido su medio filtrante biológico. Por lo que una limpieza periódica soluciona este problema.

Pero en los filtros percoladores el problema principal ocurre cuando en el medio filtrante quedan asfixiadas las bacterias que están adheridas al medio rugoso (piedras, membranas artificiales), esto ocurre cuando en el agua residual se transportan grasas o aceites, para solucionar este problema se debe proporcionar un elemento desengrasador del flujo, previo al filtro percolador.

La distribución del agua sobre el medio filtrante es muy importante hay que garantizar que llegue a toda la superficie de estas, para ello se utilizan aspersores, o vigas de distribución.

#### 2.3.3.8 Digestores de Lodos.

Los problemas que ocurren en los digestores anaerobios de los lodos son los de aireación de tanque, para evitar esto hay que sellar completamente el digestor para evitar la entrada de aire.

Otro problema son los tiempos de retención y ocurre cuando el lodo no sale correctamente digerido por lo que se deben de respetar los tiempos de diseño. Además de mantener las condiciones de temperatura dentro del digestor.

También es de proporcionar tuberías adecuadas para purgar correctamente el lodo, proporcionando válvulas y By pass.

#### 2.3.3.9 Patios de Secado de Lodos.

Cuando existe generación excesiva de lodo, y se les conduce a los patios de secado, estos trabajan constantemente, por lo que su uso prolongado obstruye el medio filtrante, y el secado tarda más. También las capas demasiado gruesas de lodo, retardan el secado del lodo. Esto se soluciona con limpieza periódica y remoción correcta de lodo.

#### 2.3.4 Problemas en Métodos de Tratamientos Varios.

##### 2.3.4.1 Problemas en Sistemas Anaerobios.

Los problemas en los procesos anaerobios son muy variados, porque existen una amplia variedad de tipos de procesos, a continuación exponemos los mas comunes en diversos sistemas.

- La mezcla del agua residual no es completa ni uniforme
- El ascenso del fluido en el reactor es demasiado rápido
- Existe entrada de oxígeno al sistema

- El fango permanece demasiado tiempo
- El sistema anaerobio tarda tiempo en comenzar a funcionar
- Fugas de malos olores

#### 2.3.4.2 Problemas en Sistemas Aerobios.

Como existe una gran variedad de sistemas aerobios, los problemas son diversos, a continuación presentan los problemas mas comunes en los diferentes sistemas.

- La aireación no es uniforme en los tanques
- La recirculación de los fangos de retorno no es eficiente
- El lodo de recirculación no se distribuye uniformemente en el tanque aireador.
- Los difusores de aire suelen necesitar mantenimiento continuo.
- La entrada de aire a los filtros percoladores es ineficiente
- Existe entrada de grasas y aceites a los sistemas
- Riesgos de aparición de fango voluminoso, nocardia y espumas

#### 2.3.4.3 Problemas con el uso de otros sistemas.

Bordas en las quebradas.

Estos sistemas son artesanales, consisten en construir diques en las quebradas a medida baja la pendiente, terrazas, esto hace que el agua miel

residual se lagune en cada borda, para que se sedimente, infiltre, evapore y hasta se estabilice.

Los problemas con este sistema son:

- Por estar a la intemperie, los malos olores son muy fuertes y cubren una gran extensión, hasta donde llega la quebrada.
- No se da mantenimiento ni control sanitario
- No existen rejas de seguridad para evitar que personas se acerquen y arrojen basura.
- Por ser artesanal a veces la construcción de diques es de mala calidad.
- Los controles de drenajes entre cada dique son inexistentes.
- Se tiene que elegir una quebrada seca para construir tales bordas.

Adición de cal.

Es un sistema muy usado en los beneficios de café, el cual es muy eficiente para aquellos que cuentan con muy bajos recursos.

Los problemas más comunes en el uso de la cal son los siguientes:

- No se mezcla completa ni uniformemente la cal con el agua miel.
- No se dosifica la cal adecuadamente.

### **3.0 PROPUESTAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS BENEFICIOS HÚMEDOS DE CAFE.**

#### **3.1 Propuesta de Tratamiento Preliminar.**

##### 3.1.1 Propuesta de Rejas

En el presente trabajo de graduación se contempla el diseño de rejas de tamizado grueso de limpieza manual, por ser el más empleado en nuestro país, ya que, el tamizado fino requiere de maquinaria especializada como tamices de tambor rotatorio y tamices de disco giratorio.

##### 3.1.1.1 Análisis del elemento

El objetivo de las rejas es la separación de sólidos flotantes de gran tamaño en el agua, por ejemplo trapos, botellas de plástico, estopas, madera etc y de esta manera proteger aguas abajo los equipos mecánicos e instalaciones tales como bombas, tuberías, registros de piezas especiales, desarenadores, sedimentadores etc.

Son dispositivos formados por barras metálicas, paralelas, del mismo espesor e igualmente espaciadas.

Las rejas se clasifican como de limpieza manual y limpieza mecánica. Las rejas de limpieza manual se usan con bastante frecuencia en plantas de tratamiento pequeñas, y son las más utilizadas en el país; los sólidos removidos de las rejas se colocan sobre una bandeja perforada que esta sobre el canal que contiene las rejas, para su deshidratación. Las rejas de limpieza mecánica

emplean cadenas sin fin, cables o mecanismos con ruedas dentadas reciprocantes accionadas por motores, que mueven un rastrillo empleado para remover los residuos acumulados por la rejilla.

### 3.1.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario.

La información básica para el diseño convencional de rejillas de limpieza manual o mecánica se presenta en la tabla 8. El análisis asociado con el uso de equipos para el tamizado grueso contempla la determinación de la pérdida de carga producidas con el paso del agua a través de estas unidades. Las pérdidas hidráulicas a través de rejillas son una función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad de flujo a través de los barrotes. Las pérdidas de carga a través de una rejilla de tamizado grueso se pueden estimar por medio de la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 1 (ec. 1)}^{27}$$

$h_L$ : Pérdida de carga (m)

0.7: Coeficiente empírico, que incluye pérdidas por turbulencia y remolinos

V: Velocidad de flujo a través del espacio entre barras (m/s)

v: Velocidad de aproximación del fluido hacia la rejilla (m/s)

---

<sup>27</sup> Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, México 1996, ed McGraw Hill

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

La siguiente ecuación, se usa para la pérdida de carga para un orificio, y sirve para considerar a las rejas en condiciones de obstrucción, y cuya velocidad de flujo aumenta en proporción al porcentaje de área de la rejilla obstruida.

$$h_L = \frac{1}{C} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) \quad \text{ec. 2}^{28}$$

h<sub>L</sub>: Pérdida de carga (m)

C: Coeficiente de descarga del tamiz, aproximadamente 0.6

V: Velocidad de flujo a través del espacio entre barras (m/s)

v: Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

---

<sup>28</sup> Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, México 1996, ed McGraw Hill

**Tabla 8 Información Usual para el Diseño de Rejas de Limpieza Mecánica y Manual.<sup>29</sup>**

Parámetro	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
Tamaño de la Barra		
Diámetro cm	0.6 – 1.5	0.6 - 1.5
Profundidad cm		2.5 – 7.5
Separación cm	2.5 – 5	1.6 – 7.5
Inclinación respecto a la vertical en ° Grados	30 – 45	0 – 30
Velocidad de aproximación m/s	0.3 – 0.6	0.6 – 0.9
Perdida de Carga Admisible cm	15	15

Estas ecuaciones y valores son aplicables a las aguas mieles en beneficios húmedos de café, debido a que se basan en velocidades de flujo, y no a la composición de esta.

#### Ejemplo de Diseño.

Determinar las pérdidas de carga de diseño para una rejilla en la cual el 50% del área disponible para flujo se encuentra obstruida por la acumulación de sólidos gruesos. Supóngase el valor máximo para la velocidad de aproximación de la tabla 8 y las siguientes condiciones:

Velocidad a través de la rejilla limpia = 0.91 m/s

Area de flujo para rejilla limpia = 0.2 m<sup>2</sup>

<sup>29</sup> Tchobanoglous, George. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones

Solución:

Calcular las pérdidas de carga en la rejilla limpia con la ecuación 1, y velocidad de aproximación 0.6 m/s

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

$$h_L = \frac{1}{0.7} \left( \frac{0.91^2 - 0.6^2}{2 \times 9.8} \right) = 0.034 \text{ m} = 3.400 \text{ cm} \quad \text{OK. De tabla 8}$$

Estimar las pérdidas de carga en la rejilla para condiciones en la que ésta se encuentre obstruida, usando la ecuación para un orificio.

La velocidad a través de la rejilla obstruida aumenta en proporción  $100\% / 50\% = 2$

$$V = 0.914 \text{ m/s} \times 2$$

$$V = 1.828 \text{ m/s}$$

$$h_L = \frac{1}{C} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Si se supone  $C = 0.6$  las pérdidas de carga serán:

$$h_L = \frac{1}{0.6} \left( \frac{1.83^2 - 0.6^2}{2 \times 9.8} \right) = 0.254 \text{ m} = 25.4 \text{ cm}$$

Este resultado no es aceptable según la tabla 1, ya que la rejilla al estar obstruida en un 50%, sobrepasa los 15 cm de pérdida admisible, que de

permanecer así, continúa inundándose hasta llegar al rebalse del canal de rejillas, y que además se necesitaría una limpieza a intervalos de tiempo muy cortos. El área sumergida de la superficie de la reja debe ser aproximadamente un 200% del área de la sección transversal de la tubería o área hidráulica del canal de transporte de las aguas residuales<sup>30</sup>.

Ahora de la tabla 1

Diámetro barras  $\theta_b = 3/8$  pulgadas = 0.952 cm (tabla 1)

Separación barras ( $S_b$ )= 2 cm (tabla 1)

Inclinación de las rejillas ( $\alpha$ ) = 45° (tabla 1)

Diámetro tubería aguas residuales ( $\Phi$ )= 8 pulgadas (Asumido)

Area de la tubería:

$$A_a = \frac{\pi}{4} \phi^2 \quad \text{ec. 3}$$

$$A_a = \frac{3.14}{4} (8 \times 2.54)^2 = 324.290 \text{ cm}^2$$

Area de la abertura de las rejillas:

$$A_{ab} = 2A_a \quad \text{ec. 4}$$

$$A_{ab} = 2 \times 324.29 = 648.580 \text{ cm}^2$$

---

<sup>30</sup> Babbitt y Baumann E. Alcantarillado y Aguas Negras

Longitud de la rejilla L:

$$L = 2\phi \quad \text{ec. 5}$$

$$L = 2(8 \times 2.54) = 40.64 \text{ cm}$$

Ancho total de la abertura:

$$\sum S_b = \frac{A_{ab}}{L} \quad \text{ec. 6}$$

$$\sum S_b = \frac{648.58}{40.64} = 15.96 \text{ cm}$$

Numero de aberturas:

$$N_A = \frac{\sum S_b}{(\theta_b + S_b)} \quad \text{ec. 7}$$

$$N_A = \frac{15.96}{(0.95 + 2)} = 5.41 = 6 \text{ aberturas}$$

Numero de barras:

$$N_B = N_A + 1 \quad \text{ec. 8}$$

$$N_B = 6 + 1 = 7 \text{ barras diametro } \theta_b = 3/8 \text{ pulgada}$$

Ancho de la cámara de rejillas:

$$B = (N_B \times \theta_b) + (N_A \times S_b) \quad \text{ec. 9}$$

$$B = (7 \times 0.95) + (6 \times 2) = 18.66 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Tirante de la cámara:

$$H = L \operatorname{sen} \alpha \quad \text{ec. 10}$$

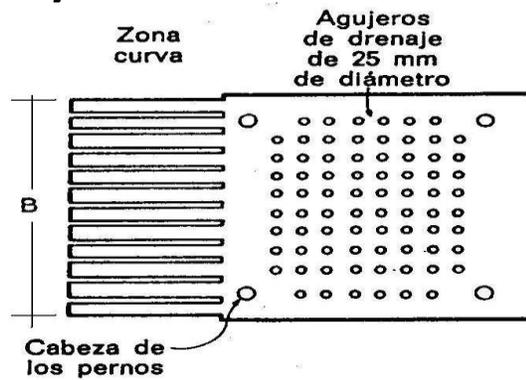
$$H = 40.64 \operatorname{sen} 45^\circ = 28.74 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

Longitud de las barras:

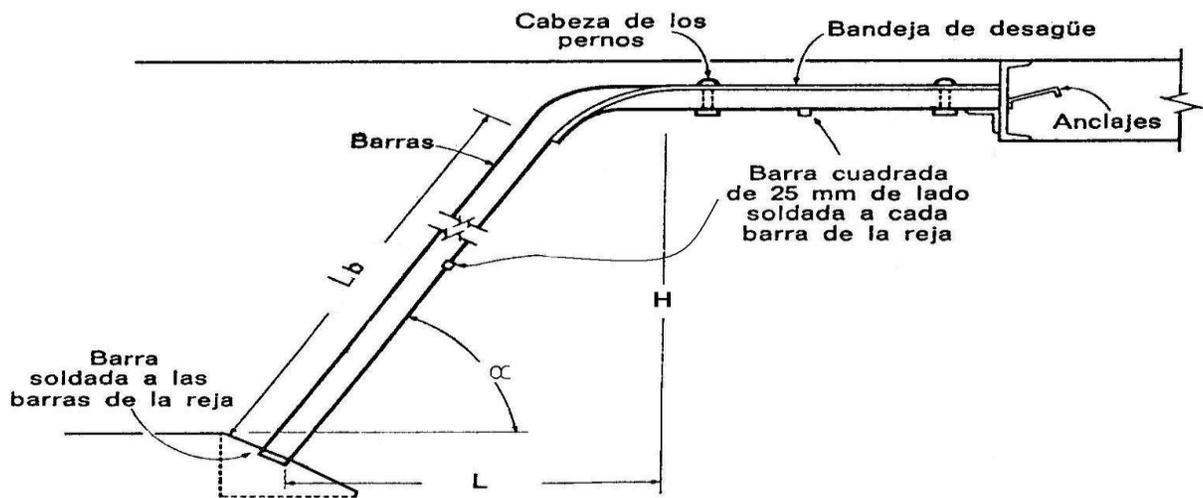
$$L_b = \sqrt{H^2 + L^2} \quad \text{ec. 11}$$

$$L_b = \sqrt{30^2 + 40.64^2} = 50.8 \text{ cm} = 51 \text{ cm}$$

## 3.1.1.3 Diagramas.

Figura 8 Rejillas de Tamizado Grueso<sup>31</sup>

PLANO DE LA BANDEJA DE DESAGÜE



DETALLE DE UNA REJA

<sup>31</sup> Barnes, George E., Tratamiento de Desechos industriales, Ed. RABASA S.A. Mexico 1967

#### 3.1.1.4 Resultados

Los residuos sólidos retirados en el tamizado grueso, los cuales son recolectados en rejillas con separaciones de ½ pulgada (12.5 mm) o más, están compuestos básicamente de rocas, ramas, trozos de madera, hojas de árboles, plásticos, trapos; también se puede retener un poco de materia orgánica (tales como la pulpa de café en nuestro caso especial) reduciendo la separación entre barras hasta 1 cm (rejilla fina). Teniendo en cuenta una rejilla de tamizado grueso antes de las rejillas de tamizado fino.

Es de considerar que la longitud de las rejillas no debe exceder de lo que se pueda rastrillar fácilmente a mano. Encima de las rejas deberá colocarse una placa perforada para que los objetos rastrillados puedan almacenarse temporalmente para su secado y posterior disposición final. Este elemento de tratamiento no remueve ningún contaminante del agua, solo sólidos gruesos que pueden ir en el flujo.

#### 3.1.2 Propuesta de Pilas de Homogenización.

##### 3.1.2.1 Análisis del Elemento.

La homogenización es una medida empleada para superar problemas de tipo operativo que causan los siguientes factores:

Variaciones de caudal

Variación carga orgánica

Desequilibrio de nutrientes

Desequilibrio del pH.

Las pilas de homogenización nos sirven también para reducir el tamaño y los costos de las unidades de tratamiento ubicadas aguas abajo. En efecto, la homogenización amortigua las variaciones de caudal, de manera que se alcanza un caudal de salida casi constante.

La homogenización de caudal se puede emplear en diversas situaciones dependiendo de las características de los sistemas de agua residual, y de los objetivos deseados. Esta práctica es muy útil en plantas pequeñas de tratamiento que experimentan variaciones considerables entre los valores máximos y promedios de caudal y carga orgánica contaminante.

Existen dos tipos de unidades para la homogenización de caudales, denominados unidad en línea y unidad en derivación o paralelo (Ver figura 10 en diagramas 3.1.2.3 pag. 108).

Es muy importante saber que si la relación entre el caudal máximo horario y el promedio es menor o igual a 2, la unidad de homogenización puede que no resulte económica.

### 3.1.2.2 Diseño Hidráulico Sanitario.

Para dimensionar una unidad de homogenización es necesario realizar un análisis basado en un balance de masas, el volumen de agua residual que ingresa en la planta en un intervalo de tiempo determinado se compara con el volumen de agua promedio horario, calculado para un periodo de 24 horas. Si el volumen entrante es menor que el valor promedio, el tanque de homogenización comienza a ser drenado; mientras tanto que si el volumen entrante es mayor que el valor promedio, el tanque comienza a llenar con el exceso de agua residual. La diferencia acumulada se usa para estimar el volumen necesario de almacenamiento de agua residual.

En la práctica, el volumen del tanque de homogenización debe ser superior al determinado por consideraciones teóricas, hecho que se deriva de tener en cuenta los siguientes factores:

- El funcionamiento continuo de los equipos de aireación y mezclado no permiten un vaciado total dentro del tanque en caso que hubieren, a pesar de que pueden adoptarse configuraciones y estructuras especiales
- La recirculación de sobrenadantes y filtrado exige un volumen adicional, caso de que el retorno se realice al tanque de homogenización (practica no recomendada)

- Debe contemplarse la posibilidad de imprevistos y cambios no previsibles en los caudales diarios

### Ejemplo de diseño

Calcular el volumen necesario para una unidad de homogenización en derivación, usando los valores de caudal promedio horario calculados en la siguiente tabla:

Intervalo de Tiempo (1)	Caudal Promedio Horario Mgal/d (2)	Caudal Promedio Horario gal/min (3)	Volumen Afluyente horario gal (4)	Volumen Acumulado Horario Drenado gal (5)	Volumen Acumulado al final del periodo de tiempo gal (6)
12 -1 a.m.	0.220	152.78	9167	-13681	-13681
1-2	0.160	111.11	6667	-16181	-29861
2-3	0.135	93.75	5625	-17222	-47083
3-4	0.135	93.75	5625	-17222	-64306
4-5	0.165	114.58	6875	-15972	-80278
5-6	0.280	194.44	11667	-11181	-91458
6-7	0.525	364.58	21875	-972	-92431
7-8	0.745	517.36	31042	8194	-84236
8-9	0.815	565.97	33958	11111	-73125
9-10	0.800	555.56	33333	10486	-62639
10-11	0.750	520.83	31250	8403	-54236
11-12	0.680	472.22	28333	5486	-48750
12-1 p.m.	0.605	420.14	25208	2361	-46389
1-2	0.535	371.53	22292	-556	-46944
2-3	0.480	333.33	20000	-2847	-49792
3-4	0.460	319.44	19167	-3681	-53472
4-5	0.475	329.86	19792	-3056	-56528
5-6	0.555	385.42	23125	278	-56250
6-7	0.825	572.92	34375	11528	-44722
7-8	1.075	746.53	44792	21944	-22778
8-9	1.060	736.11	44167	21319	-1458
9-10	0.830	576.39	34583	11736	10278
10-11	0.525	364.58	21875	-972	9306
11-12	0.325	225.69	13542	-9306	0
Total Promedio	13.160 0.548	9138.89 380.79	548333 22847		

Los datos de la columna 1, corresponden a los 24 intervalos de tiempo del día, queda a discreción del diseñador con que hora comienza, en este caso por ejemplo el intervalo de inicio es a las 12-1 a.m.

Los datos de la columna 2, corresponden al caudal promedio horario asociados al intervalo de tiempo, determinados en campo.

En la columna 3, están los resultados de convertir los datos de caudal de Mgal/d a gal/min. Por ejemplo para el primer intervalo tenemos

$$\left(\frac{0.220Mgal}{d}\right)\left(\frac{10^6 gal}{Mgal}\right)\left(\frac{d}{24 \times 60 \text{ min}}\right) = 152.78 \text{ gal/min}$$

Para cada periodo de tiempo, se convierte el caudal de agua residual afluente de la columna 3 en volumen horario de agua residual. Y se ubica el resultado en la columna 4. Además se calcula también el volumen horario promedio de agua residual para un período de 24 horas. Y tenemos

Volumen horario de agua residual para el primer intervalo

$$152.7 \text{ gal} / \text{min}(60 \text{ min}) = 9167 \text{ gal}$$

Volumen horario promedio de agua residual para un periodo de 24 horas, o promedio de la sumatoria de la columna 4

$$548333 / 24 = 22847 \text{ gal}$$

Calcule el volumen acumulado o drenado, como la diferencia entre el valor de la columna 4 y el promedio, para cada periodo de tiempo, y cuyo resultado corresponderá a la columna 5. Para el primer intervalo tenemos

Volumen del afluente		Volumen promedio		Acumulación (+)
durante el periodo	-	promedio horario	=	Drenaje (-)
de tiempo estudiado				
9167	-	22847	=	-13680

Los valores positivos indican que el agua residual se está almacenando en el tanque, mientras que los valores negativos indican que se requiere extraer agua del tanque de homogenización.

Calcule el volumen acumulado a partir de los valores de la columna 5, y que corresponden a la columna 6

Por último, se determina el volumen necesario para el almacenamiento, mediante la identificación de los valores de volumen acumulados máximo y mínimo de la columna 6 (valores con celda sombreada). La diferencia entre estos 2 valores, corresponde al volumen mínimo necesario del tanque de homogenización. Así tenemos

Valor máximo (9-10 p.m.) = 10278 gal

Valor mínimo (6-7 a.m.) = -92431 gal

Volumen de almacenamiento necesario =  $10278 - (-92431) = \mathbf{102700 \text{ gal}}$

## Ejemplo de Homogenización de DBO

Con la siguiente tabla calculamos el efecto de la homogenización de la DBO.

Intervalo de Tiempo (1)	Caudal Promedio Horario m <sup>3</sup> /s (2)	Concentración Media Contaminante DBO mg/lit (3)	Volumen Aportado horario m <sup>3</sup> (4)	Volumen Horario Acumulado m <sup>3</sup> (5)	Cargas de DBO sin Homogenizar Kg/h (6)	Volumen Almacenado en el Día m <sup>3</sup> (7)	Concentración Homogenizada de DBO mg/lit (8)	Carga Homogenizada DBO Kg/h
12 -1 a.m.	0.275	150	990	990	150	3986	214	237
1-2	0.220	115	792	1782	91	3672	196	217
2-3	0.165	75	594	2376	45	3160	179	198
3-4	0.130	50	468	2844	23	2522	162	179
4-5	0.105	45	378	3222	17	1794	147	162
5-6	0.100	60	360	3582	22	1048	132	146
6-7	0.120	90	432	4014	39	374	119	132
7-8	0.205	130	738	4752	96	0	126	139
8-9	0.355	175	1278	6030	223	172	175	193
9-10	0.410	200	1476	7506	295	542	197	218
10-11	0.425	215	1530	9036	329	966	210	232
11-12	0.430	220	1548	10584	341	1408	216	239
12-1 p.m.	0.425	220	1530	12114	337	1832	218	241
1-2	0.405	210	1458	13572	306	2184	214	237
2-3	0.385	200	1386	14958	277	2464	209	231
3-4	0.350	190	1260	16218	239	2618	203	224
4-5	0.325	180	1170	17388	211	2680	196	217
5-6	0.325	170	1170	18558	199	2746	188	208
6-7	0.330	175	1188	19746	208	2828	184	203
7-8	0.365	210	1314	21060	276	3036	192	212
8-9	0.400	280	1440	22500	403	3370	220	243
9-10	0.400	305	1440	23940	439	3704	245	271
10-11	0.380	245	1368	25308	335	3966	245	271
11-12	0.345	180	1242	26550	224	4102	230	254
Total	7.375		26550		5124			
Promedio	0.307		1106		213			213

Los datos de la columna 1, corresponden a los 24 intervalos de tiempo del día, queda a discreción del diseñador con que hora comienza, en este caso por ejemplo el intervalo de inicio es a las 12-1 a.m.

Los valores de la columna 2 corresponden al caudal promedio observado en los intervalos de tiempo de la columna 1

Los valores de la columna 3 corresponden a la concentración promedio observada durante los 24 períodos de la columna 1

La columna 4 resulta de la conversión del caudal promedio de la columna 2 a volumen promedio, con la siguiente operación

$$\text{Vol}_{(i)} = Q_{(i)} \text{ (m}^3/\text{s)} * 3600 \text{ (s/h)}$$

Para la primera fila tenemos

$$\text{Vol}_{(1)} = 0.275 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ (s/h)} = 990 \text{ m}^3$$

Y así sucesivamente.

Para obtener los datos de la columna 5, simplemente acumulamos los valores de la tabla 4, poniendo como primer valor el mismo del primer periodo, y para la fila 2 tenemos:

$$\text{Fila 2} = 990 + 792 = 1782 \text{ m}^3 \text{ y así sucesivamente.}$$

Los valores de la columna 6 se obtienen a partir de los datos de la columna 3 y columna 2 con la siguiente formula:

$$C_{DBO} = \frac{CM * CM_{DBO} * 3600s / h}{1000g / Kg}$$

Donde:

$C_{DBO}$ : Carga DBO Durante el Periodo de Tiempo en Kg/h (Columna 6)

CM: Caudal Medio durante el Periodo de Tiempo en m<sup>3</sup>/s (Columna 2)

$CM_{DBO}$ : Concentración Media DBO mg/l (Columna 3)

Tenemos para la fila 1:

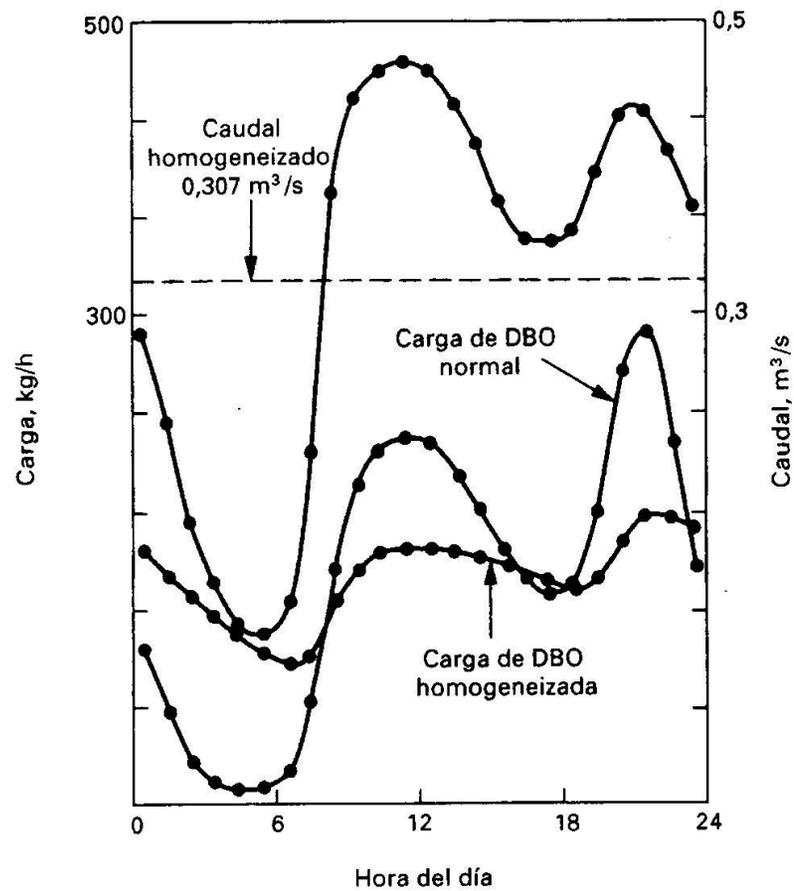
$$C_{DBO} = \frac{150 * 0.275 * 3600s / h}{1000g / Kg} = 149kg / h$$

Y así sucesivamente.

Para la columna 7 consideramos el periodo de tiempo cuando el tanque esta vacío, que ocurre a las 8.30 de la mañana según la grafica de la página siguiente.

Tomando como cero el valor entre el periodo de tiempo 7-8, hacemos los siguientes cálculos para el intervalo de tiempo 8-9:

Figura 9 Gráfico Caudales, Concentraciones y Carga Contaminante<sup>32</sup>



$$V_{SC} = V_{SP} + V_{IC} - V_{OC}$$

Donde:

$V_{SC}$ : Volumen del tanque al final del periodo m<sup>3</sup>

$V_{SP}$ : Vol. del tanque al final del periodo anterior m<sup>3</sup>

$V_{IC}$ : Vol. del tanque durante el periodo m<sup>3</sup>

$V_{OC}$ : Vol, Promedio del tanque durante el periodo total m<sup>3</sup>

<sup>32</sup> Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, México 1996, ed McGraw Hill

Tenemos entonces para la columna 7

$$V_{(8-9)} = 0 + 1278 - 1106 = 172m^3$$

$$V_{(9-10)} = 172 + 1476 - 1106 = 542m^3$$

Y así sucesivamente

Los datos de la columna 8 los calculamos a partir de la siguiente formula:

$$X_{OC} = \frac{V_{ic} X_{ic} + V_{sp} X_{sp}}{V_{ic} + V_{sp}}$$

Donde:

$X_{oc}$ : Concentración media DBO saliente del tanque mg/lit

$V_{SP}$ : Vol. del tanque al final del periodo anterior m<sup>3</sup>

$V_{ic}$ : Vol. del tanque durante el periodo m<sup>3</sup>

$X_{ic}$ : Concentración media DBO entrante mg/lit

$X_{SP}$ : Concentración media DBO anterior mg/lit

Tenemos para tiempo 8-9:

$$X_{8-9} = \frac{(1278)(175) + (0)(0)}{1278 + 0} = 175mg / lit$$

$$X_{9-10} = \frac{(1479)(200) + (172)(175)}{1476 + 172} = 197mg / lit$$

Así sucesivamente.

Para los datos de la columna 9, usamos la siguiente ecuación:

$$C_{DBO} = \frac{CM * CPM_{DBO} * 3600s/h}{1000g/Kg}$$

Donde:

$C_{DBO}$ : Carga DBO Durante el Periodo de Tiempo en Kg/h (Columna 6)

CPM: Caudal Promedio Periodo Tiempo en m<sup>3</sup>/s (Promedio Columna 2)

$CM_{DBO}$ : Concentración Media DBO mg/l (Columna 3)

Tenemos para la fila 1:

$$C_{DBO} = \frac{150 * 0.307 * 3600s/h}{1000g/Kg} = 237kg/h$$

Y así sucesivamente.

La mejor manera de mostrar el efecto de la homogenización del caudal es la representación de las cargas horarias correspondientes al flujo con y sin regulación, como se presento en la figura 8 anterior. La siguiente tabla, elaborada a partir de los datos deducidos en los anteriores apartados, también es de gran ayuda para evaluar la homogenización de caudal y carga organica.

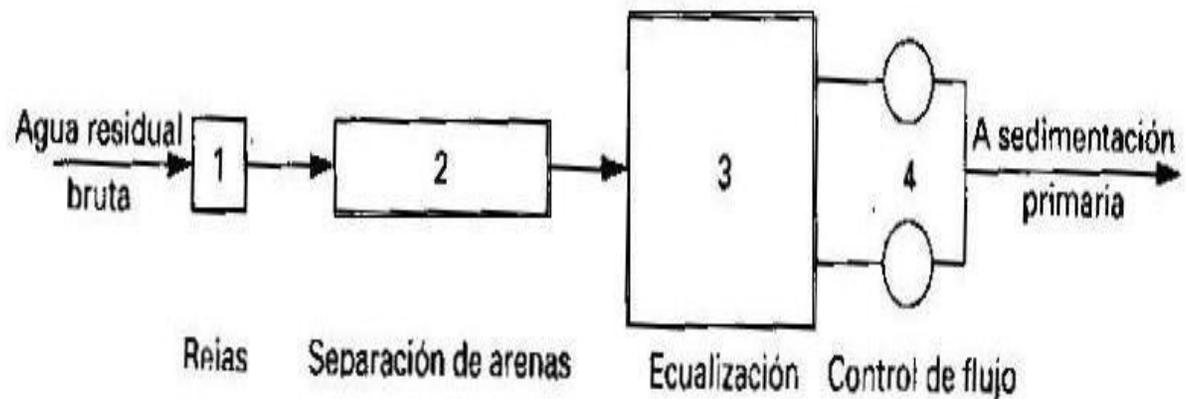
RELACION DE CARGA	CARGA DE DBO	
	NO HOMOGENIZADA Kg/h	HOMOGENIZADA Kg/h
PUNTA / MEDIA	$439 / 471 = 2.05$	$271 / 213 = 1.27$
MINIMA / MEDIA	$17 / 471 = 0.08$	$132 / 213 = 0.62$
PUNTA / MINIMA	$439 / 17 = 25.82$	$271 / 132 = 2.05$

### 3.1.2.3 Diagramas

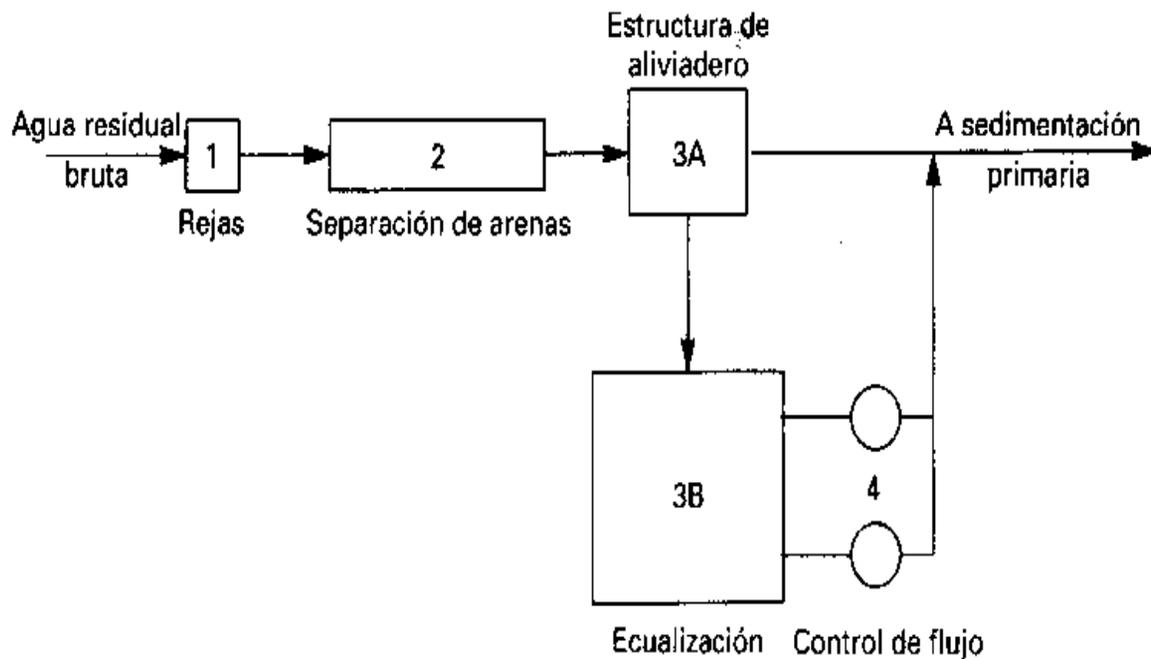
**Figura 10 Homogenización en línea y en paralelo<sup>33</sup>**

#### HOMOGENIZACION EN

#### LINEA



<sup>33</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España. El autor utiliza la palabra ecuación como homogenización.



### HOMOGENIZACION EN PARALELO

#### 3.1.2.4 Resultados

A pesar de que no se puede dar un valor fijo, el volumen adicional puede variar entre el 10% y 20% del valor teórico<sup>34</sup>.

La adopción de una unidad de homogenización en línea permite amortiguar considerablemente las cargas de constituyentes en el proceso de tratamiento que tengan lugar a continuación, mientras que la efectividad de la homogenización en derivación es bastante menor.

<sup>34</sup> Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, México 1996, ed McGraw Hill

La ubicación óptima de las instalaciones variará en función del tipo de tratamiento, de las características de la red de alcantarillado y del agua residual. También es necesario considerar la integración de las instalaciones de homogenización en el diagrama de flujo de los procesos de tratamiento. En ocasiones, puede resultar más interesante situar la homogenización después del tratamiento primario y antes del biológico, pues así se reducen los problemas originados por el fango y las espumas. Si las instalaciones de homogenización se sitúan por delante de la sedimentación primaria y antes del tratamiento biológico, el proyecto debe tener en cuenta la provisión de un grado de mezclado suficiente para prevenir la sedimentación de sólidos y las variaciones de concentraciones y dispositivos de aireación suficientes para evitar los problemas de malos olores.

La geometría de una pila de homogenización es un cubo sencillo, cuyas dimensiones se adaptaran al espacio disponible dentro de la planta de tratamiento.

Las relaciones de carga muestra el notable descenso de la carga contaminante posterior a la homogenización, por lo que la pila de homogenización contribuye en el amortiguamiento del caudal y la carga contaminante.

### 3.1.3 Propuesta de Desarenadores

#### 3.1.3.1 Análisis del Elemento

El término arena se emplea para referirse a las arenas propiamente dichas, a las gravas, cenizas y cualquier otro material mineral pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente mayor al de los sólidos orgánicos susceptibles a la descomposición presentes en el agua residual. Las arenas se remueven de las aguas residuales para:

Proteger los equipos mecánicos de la abrasión y del excesivo desgaste

Reducir la formación de depósitos sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo.

Reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por causa de acumulación excesiva de arenas.

Normalmente los desarenadores se ubican después de las unidades de remoción de sólidos gruesos y antes de la sedimentación primaria, aunque en algunas plantas de tratamiento los desarenadores anteceden las unidades de tamizado. Por lo general, la instalación de unidades de tamizado fino antes del desarenador facilita la operación y mantenimiento de las instalaciones destinadas a la remoción de arenas.

Existen tres clases de desarenadores:

Flujo horizontal con sección rectangular

Desarenadores aireados

Desarenadores de vórtice

En este trabajo de graduación, nos limitaremos a diseñar desarenadores de flujo horizontal con sección rectangular, por la sencillez de su diseño y construcción.

### 3.1.3.2 Diseño Hidráulico Sanitario.

Consideraciones de diseño

**Tabla 9 Datos para Diseño de Desarenadores de Flujo Horizontal<sup>35</sup>**

		VALOR	
PARAMETRO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
TIEMPO RETENCION	S	45 - 90	60
VELOCIDAD HORIZONTAL	M/S	0.244 – 0.396	0.3
VELOCIDAD SEDIMENTACION PARA REMOVER PARTICULAS DE DIAMETRO D=0.3mm	M/S	0.047 – 0.052	0.049
D=0.15 mm	M/S	0.010 – 0.015	0.013
LONGUITUD ADICIONAL POR TURBULENCIA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL CANAL	%	25 - 50	30

<sup>35</sup> Tchobanoglous, George. Tratamiento de A. R. en poblaciones pequeñas

Diseñar una cámara desarenadora de flujo horizontal de sección rectangular para separar arenas de tamaño mayor a 0.2 mm y con un caudal de 10,000 m<sup>3</sup>/d. el peso específico de las partículas es de 1.9. Encontrar el tiempo de retención de las partículas.

De la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d^2}{18\mu} \quad \text{ec. 12}$$

Donde:

V<sub>s</sub>: Velocidad de sedimentación m/s

ρ<sub>p</sub>: Peso específico de las partículas

ρ<sub>w</sub>: Peso específico del agua

d: Diámetro de las partículas m

μ: Viscosidad dinámica del agua N.m/s<sup>2</sup>

g: Gravedad m/s<sup>2</sup>

Considerando que el agua se encuentra a 20 °C. La viscosidad dinámica del agua es 1.00 E -3 N.s/m<sup>2</sup>.

Sustituyendo los valores en la formula 12.

$$V_s = \frac{9.8(1.9 - 1.0)d^2}{18 \times 1.002 \times 10^{-3}}$$

$$V_s = 490d^2$$

$$V_s = 490 \times 0.2^2$$

$$V_s = 19.6 \text{ mm/s} = 0.02 \text{ m/s}$$

Este ejemplo no considera la viscosidad dinámica de las aguas mieles del beneficiado húmedo de café.

Suponiendo un tirante 1.5 veces la anchura y una velocidad de flujo o velocidad horizontal ( $V_h$ ) de 0.3 m/s. Tenemos

$$\text{Area de la sección transversal } A = W \times D \quad \text{ec 13}$$

Donde:

W: Ancho del canal

D: Tirante

$$\text{Caudal del canal } Q = A \times V \quad \text{ec 14}$$

Donde:

A: Area de la sección transversal

V: Velocidad

$$A = W \times D$$

$$A = 1.5W^2$$

Sustituyendo en ec. 14 tenemos

Con  $Q=10000 \text{ m}^3/\text{d}$  y  $V_H=0.3 \text{ m/s}$

$$1.5W^2 = \frac{Q}{V_H}$$

Resolviendo para W y D tenemos

$$W = 0.51 \text{ m} \quad \text{y} \quad D = 0.76 \text{ m}$$

Por tanto tenemos para longitud de la cámara

$$L = V_H(t_d) \quad \text{ec. 15}$$

Donde

$t_d$  : tiempo para la velocidad de decantación

$$t_d = \frac{D}{V_s} \quad \text{ec. 16}$$

$$t_d = \frac{0.76}{0.02} = 38s$$

Sustituyendo en ec 15 tenemos

$$L = 0.3 \times 38 = 11.4m$$

Agregando un 30% a la longitud por razones de turbulencia a la entrada y a la salida tenemos  $L = 14.82 \text{ m}$

Por lo tanto las dimensiones del desarenador, con un canal igual para que funcione de by pass son

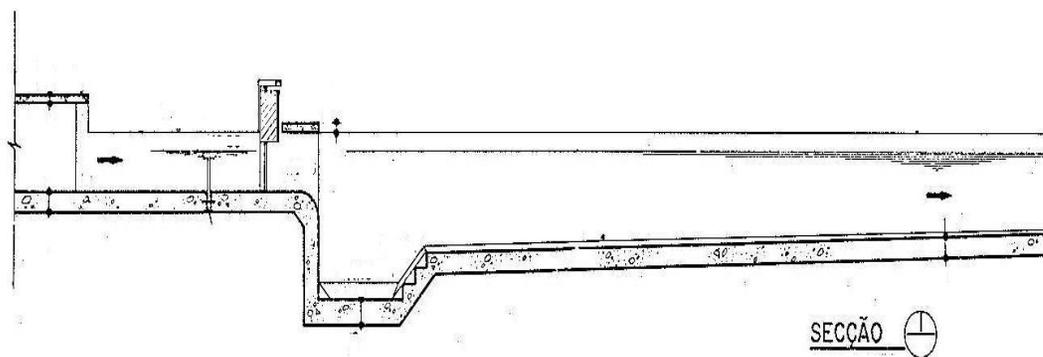
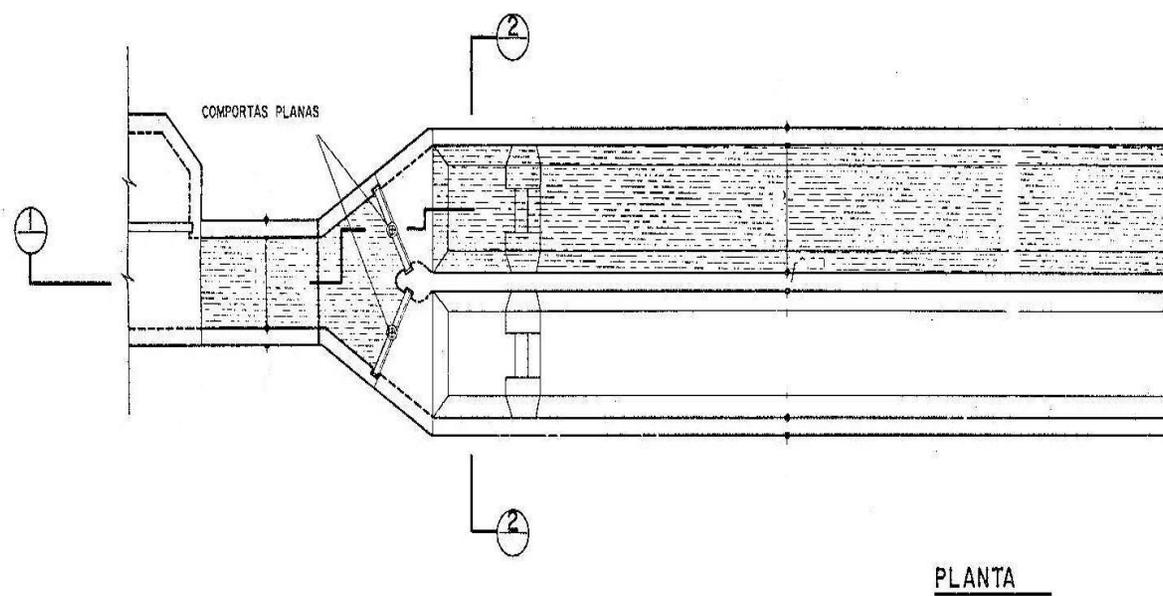
$$L= 14.82 \text{ m}$$

$$W= 0.51\text{m}$$

$$D= 0.76\text{m}$$

## 3.1.3.3 Diagramas

Figura 11 Desarenador flujo horizontal



#### 3.1.3.4 Resultados

La cantidad de arena removida varía ampliamente de una planta a otra, dependiendo del tipo de sistema de recolección, como la clase de vertido, procedencia de las aguas y el contenido de arena del suelo de la región. La arena sin lavar puede contener 50% o más de materia orgánica; una inapropiada disposición de este material ocasionaría la proliferación de insectos y roedores. Tanto en clima caliente como en frío, si la arena no lavada no es dispuesta con prontitud, su descomposición será rápida, liberando malos olores y atrayendo insectos, principalmente las moscas, como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos volátiles.

La forma mas común de disponer la arena proveniente de la remoción, es el relleno sanitario o enterrandola. En este caso la arena debe ser estabilizada con cal antes de su disposición en los rellenos sanitarios o en la tierra..

#### 3.1.4 Propuesta de Medidores de caudal.

##### 3.1.4.1 Análisis del elemento

En nuestro trabajo de graduación, estudiaremos el medidor de caudal tipo parshall, cuyas principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación y que tampoco necesita correcciones para una sumersión de

hasta el 70%. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en los canales de riego o en las corrientes naturales con una pendiente suave.

Consta de cuatro partes principales:

Transición de entrada: el piso se eleva sobre el fondo original del canal con una pendiente suave y las paredes se van cerrando.

Sección convergente: el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo

Garganta: la pendiente vuelve a bajar manteniendo el mismo ancho de la sección convergente.

Sección Divergente: la pendiente del piso aumenta y la sección del canal aumenta.

En cualquier parte del medidor, la sección del canal siempre es rectangular.

Junto a la estructura del medidor, se tienen dos pozos laterales o tanques, con la misma profundidad, o mayor que la parte más baja del medidor. El agua que escurre por el medidor pasa a estos pozos por medio de unas perforaciones colocadas en la pared de la sección convergente y en la garganta.

La relación del nivel del agua aguas abajo  $H_b$  con el nivel aguas arriba  $H_a$  se conoce como el grado de sumersión; una ventaja del canal de aforo Parshall es que no requiere corrección alguna hasta un 70% de sumersión. Si

es probable que se produzca un grado de sumersión mayor,  $H_a$  y  $H_b$  deben registrarse,

#### 3.1.4.2 Diseño Hidráulico Sanitario

La medición del caudal o gasto de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua.

La fórmula que representa este concepto es la siguiente:

$$Q = A \times V \quad \text{ec. (14)}$$

Donde:

$Q$  = Caudal o Gasto.

$A$  = Área de la sección transversal.

$V$  = Velocidad media del agua en el punto de control.

Para la medición del agua existen varios métodos, siendo los más utilizados el método del correntómetro y el método del flotador.

Método del Correntómetro.

En este método la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua.

Existen varios tipos de correntómetros, siendo los mas empleados los de hélice de los cuales hay de varios tamaños; cuando más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor debe ser el tamaño del aparato.

Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad sabiendo él número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica: una fórmula de calibración es la siguiente

$$v = a n + b \quad \text{ec. 17}$$

Donde:

V: es la velocidad del agua, en m / s

n: numero de vueltas de la hélice por segundo.

a: paso real de la hélice en metros.

b: llamada velocidad de frotamiento en m / s

Como el Correntómetro mide la velocidad en un punto, para obtener la velocidad media de un curso de agua se deben en ciertos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua.

**Tabla 10 Las profundidades en las cuales se mide las velocidades con el correntómetro en función de la altura del tirante de agua (d).**

Tirante de agua ( d )	Profundidad de lectura del Correntómetro
Cm	cm
< 15	d / 2
15 < d < 45	0,6 d
> 45	0,2 d y 0.8 d o 0.2 d, 0.6 d y 0.8 d

**Tabla 11 Parámetros para Diseño de Medidores Parshall**

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	167	229	78	203	19	---	29	---	---	8	13
50.8	414	278	406	135	214	254	114	254	22	---	43	---	---	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	---	57	---	---	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.372	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.448	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.524	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.676	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.829	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.981	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.134	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.286	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.438	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.607	1.524	0.914	2.438	0.152	---	0.343	---	---	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	---	0.457	---	---	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229
15.2400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	---	0.686	---	---	0.305	0.229

Donde:

W: Ancho de la garganta

A: Longitud de las paredes de la sección convergente

a: Ubicación del punto de medición

B: Longitud de la sección convergente

C: Ancho de la salida

D: Ancho de la entrada de la sección convergente

E: Profundidad total

T: longitud de la garganta

G: Longitud de la sección divergente

H: Longitud de las paredes de la sección divergente

K: Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

M: longitud de la sección de entrada

N: Profundidad de la cubeta

P: Ancho de la entrada de transición

R: Radio de curvatura

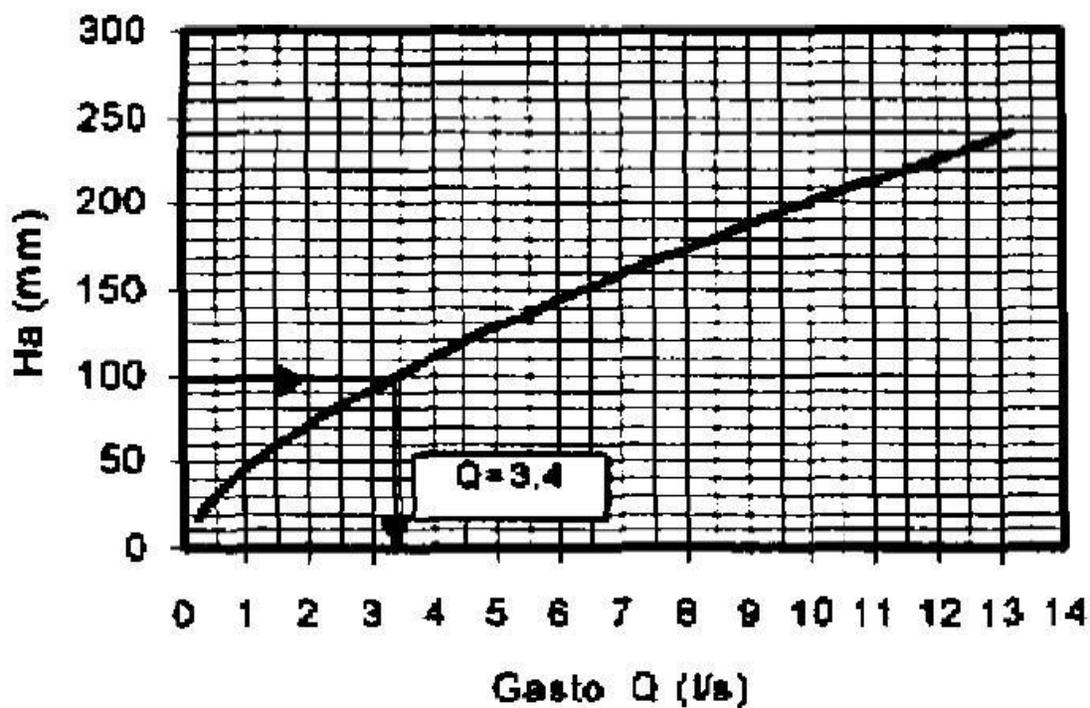
X: Abcisa del punto de medición Hb

Y: Ordenada del punto de medición Hb

Conocidas las velocidades y profundidades, se procede a buscar con la tabla 4 los anchos de la sección de convergencia, se calcula el área de la sección transversal, y conoceremos el gasto que el medidor parshall puede soportar.

Conocidos los datos del ancho de la garganta  $W$ , y la altura que marca el pozo perforado  $H_a$ . Nos remitimos a la gráfica 1 y con datos del  $H_a$ , obtenemos el caudal que circula por la sección en ese momento.

**Gráfico 1 Caudal contra altura**



## 3.1.4.3 Diagramas

Figura 12 Nomenclatura de medidor parshall

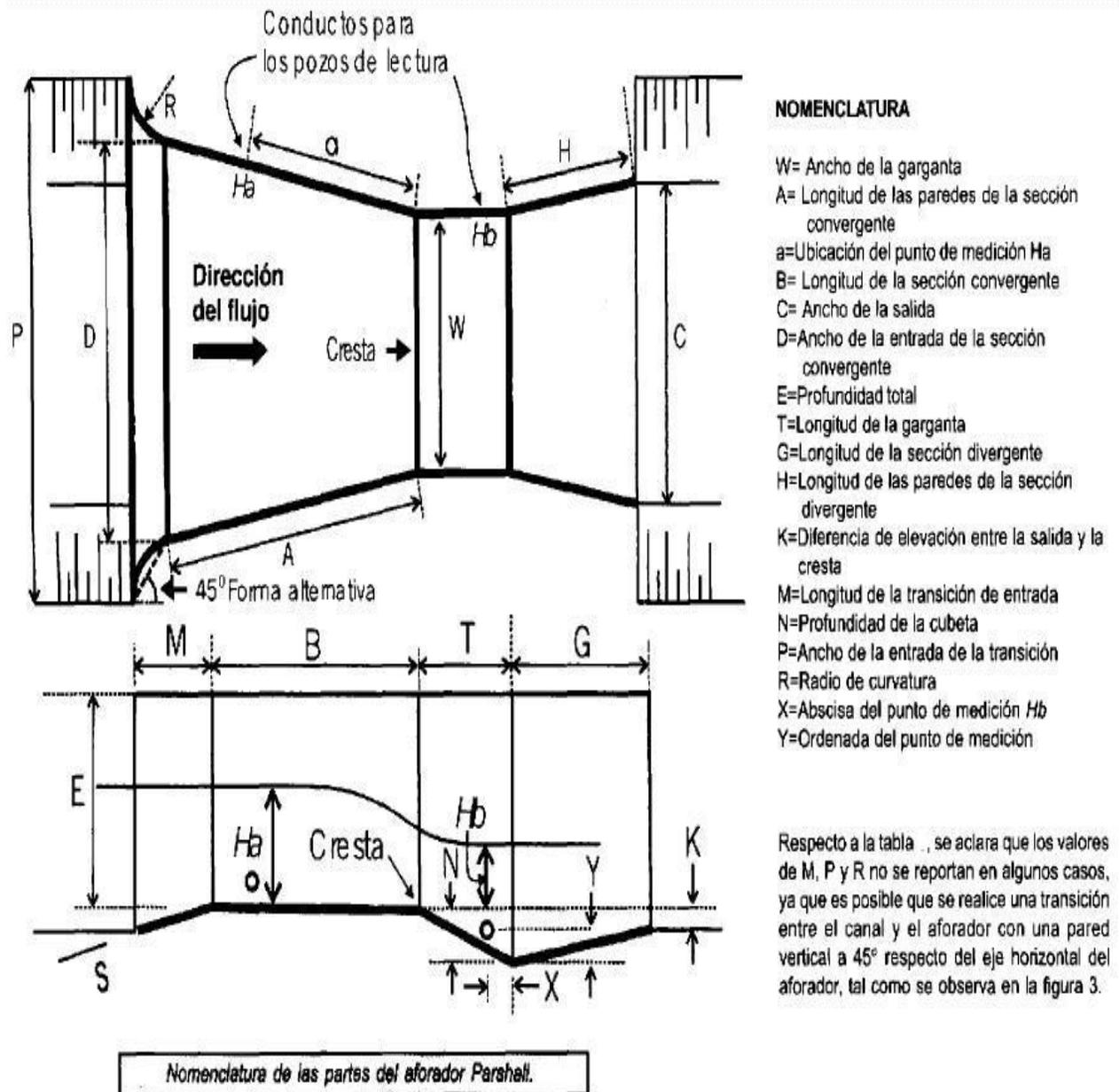
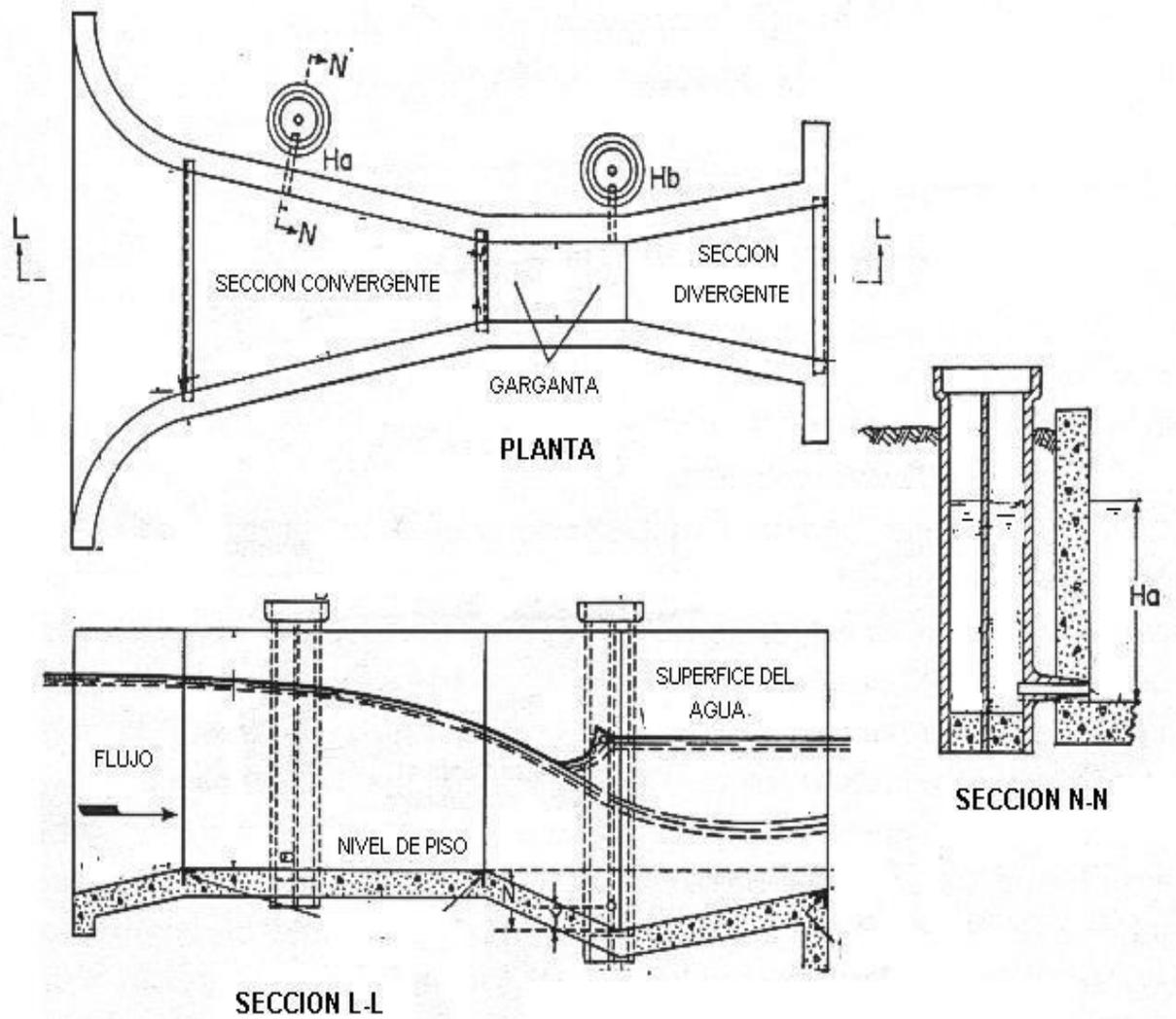


Figura 13 Perforaciones en canales parshall para medición.



#### 3.1.4.4 Resultados

El medidor parshall se basa en experimentos observados, por lo que es un método empírico, por lo que canaletas de diferentes tamaños se les midió el caudal y la profundidad y todos dieron los mismos resultados. Por eso es de vital importancia que las medidas presentadas en la tabla 4 se respeten para disminuir lo más posible los errores de lectura.

Es necesario tener la gráfica 1 en campo, para medir la altura  $H_a$ , y encontrar fácilmente el caudal en cualquier momento que se requiera.

### **3.2 Propuesta de tratamiento primario.**

#### 3.2.1 Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).

##### 3.2.1.1 Análisis del Sistema.

El líquido que va a ser tratado se introduce por el fondo del reactor, donde fluye hacia arriba a través del manto de lodos compuesto de partículas biológicas densamente formadas. Los gases que se producen bajo condiciones anaerobias (en especial el metano y dióxido de carbono) sirven para mezclar los contenidos del reactor a medida que ascienden hacia la superficie. El gas que asciende ayuda a formar y a mantener los gránulos, mientras que el material, que se mantiene a flote gracias a los gases, choca contra los tabiques degasificadores y se deposita de nuevo sobre la zona en reposo de sedimentación arriba del manto de lodos. El gas es atrapado en un domo colector de gases localizado en la parte superior del reactor.

En este trabajo de graduación analizaremos el RAFA con manto de lodos o UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet), cuyas características son el bajo costo de construcción, la simplicidad de operación y la posibilidad de modulación. Es un tanque digestor en cuya parte superior tiene un sistema de decantación y un sistema de deflexión de gases. El agua residual entra uniformemente distribuida por el fondo y su flujo es hacia arriba. En el fondo del reactor se forma un manto de lodos responsable de degradar la materia orgánica, transformándola en metano, bióxido de carbono, ácido sulfídrico y nuevas bacterias anaerobias. Durante el ascenso hay sedimentación y el lodo prácticamente se estratifica en toda la altura, ubicándose lo más denso hacia la parte inferior.

El efluente del reactor usualmente es tratado en alguna otra unidad, ya que la eficiencia de remoción de materia orgánica del RAFA no es del 100%. El lodo acumulado puede llegar a ser excesivo, por lo que se hace indispensable drenar parte de él cuando sea necesario. El biogás acumulado puede ser aprovechado como productor de energía.

Ventajas del RAFA con manto de lodos

Un área necesaria muy pequeña

Los costos de inversión son bajos

No se requiere de ningún tipo de equipo electromecánico para su funcionamiento

El porcentaje de remoción de DQO varía entre 60% y 85%

Es posible aplicarlo en plantas de tratamiento de cualquier tamaño, pero se recomienda aplicarlo para plantas que atienden más o menos 1000 viviendas.

Produce gas metano, que es combustible

Desventajas del RAFA con manto de lodos.

Se requiere de un tratamiento posterior al RAFA, ya que su remoción de materia orgánica no es del 100%

Se debe tener mucho cuidado y esperar unas 48 horas, para comenzar a operar correctamente, esto se debe al desarrollo de las bacterias metanogénicas.

### 3.2.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario

El diseño de los procesos de tratamiento anaerobio depende del tipo de sistema. Para nuestro trabajo de graduación usaremos el de mezcla completa, que es el más convencional, el diseño se basa en el análisis del reactor de mezcla completa sin recirculación. En la tabla 5 se muestran los coeficientes cinéticos más comunes para el lodo de las aguas residuales, con los cuales se debe tener especial cuidado debido a la variabilidad de los lodos individuales.

**Tabla 12 Coeficientes Cinéticos más usuales para la digestión anaeróbica de las aguas residuales domesticas<sup>36</sup>.**

COEFICIENTE	UNIDADES	VALORES	
		RANGO	USUAL
K	$d^{-1}$	0.5 – 2	1.0
Ks	mg DQO/L	500 – 2500	1500
Y	mg SSV/mg DQO	0.05 – 0.15	0.1
Kd	$d^{-1}$	0.02 – 0.05	0.03

Valores reportados para temperaturas del agua a 20 °C.

Donde:

k: Constante de hidrólisis ( $d^{-1}$ )

Ks: Constante de Monod o Constante de Saturación Media (mg de DQO/lit)

Y: Coeficiente de Rendimiento de Biomasa (mg de sólidos suspendidos volátiles / mg DQO)

Kd: Tasa de Muerte Celular ( $d^{-1}$ ).

<sup>36</sup> Tchobanoglous, George, Tratamiento A.R. poblaciones pequeñas.

**Tabla 13 Tiempos Medios de Retención Celular Sugeridos para el Diseño de Reactores Anaerobios de Mezcla Completa<sup>37</sup>**

Temperatura de Operación °C	Tiempo Retención $\theta_c^M$ días	Tiempo $\theta_c$ Sugerido para el Diseño, días
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Donde:

$\theta_c^M$  : Tiempo de retención hidráulica en días (d)

$\theta_c$  : Tiempo de retención hidráulica de diseño en días (d)

Ejemplo de Diseño.

Diseñar un RAFA convencional de mezcla completa, requerido para tratar el lodo proveniente de una planta de tratamiento primario diseñada para procesar 0.003508 Mgal/d (3800 m<sup>3</sup>/d) de aguas residuales domésticas. Verificar la tasa de carga orgánica y calcular la cantidad de gas metano y de gas total digerido que se produce en condiciones estándares.

Suponga lo siguiente:

<sup>37</sup> Tchobanoglous, George, Tratamiento A.R. poblaciones pequeñas.

Temperatura de operación = 36 °C

Materia orgánica removida, por Mgal de aguas residuales (MOR)=1200lb

DQO

Sólidos Suspendidos Totales (SST) removidos por Mgal de aguas residuales = 1200 lb

Contenido de humedad de lodo (por peso) = 96%

Gravedad específica del lodo = 1.025

Coefficientes cinéticos

$k = 1.4 \text{ d}^{-1}$

$K_s = 2000 \text{ mg DQO / L}$

$Y = 0.1 \text{ mg SSV / mg DQO}$

$K_d = 0.03 \text{ d}^{-1}$

Para calcular el volumen requerido del reactor, usar un factor de seguridad de FS=2.0

Factor de conversión de unidades:  $F_c = 8.34 \text{ lb}/(\text{Mgal} \cdot \text{mg}/\text{lt})$

El lodo contiene una cantidad adecuada de nitrógeno y fósforo para el crecimiento bacteriano.

Desempeño del Proceso Anaeróbico de un RAFA

Entrada de DQO, mg/L = 5000 – 15000

Tiempo Retención Hidráulica, horas (TRH) = 18 – 30h

Tasa de Carga Orgánica Volum., lb DQO / pie<sup>3</sup>.día (TCOV)= 0.05 – 1.0

Remoción de DQO, % = 70 - 85

NOTA: cerca del 70% de los sólidos son biodegradables, y el factor de conversión de la masa celular a DQO es de  $F=1.42^{38}$ . Por consiguiente el factor global de conversión de SST a DQO es de  $0.70 \times 1.42 = 1$

Solución

Calcular el volumen de lodo y la concentración de DQO

1. Calcular Peso del lodo en libras por día

Peso de los sólidos de lodo = 1200 lb/día

Contenido de humedad = 96%, por lo que el 4% es sólido

Por regla de tres:

$$\frac{\text{SólidosLodos}}{\text{AguaLodos}} = \frac{0.04}{0.96} = \frac{1200\text{lb} / d}{28800\text{lb} / d}$$

Peso total de lodos = 1200 + 28800 = 30000 lb/d

Determinar el volumen de lodos usando el peso específico del agua (62.4 lb/pie<sup>3</sup>) y la gravedad específica dada anteriormente

---

<sup>38</sup> Tchobanoglous, George. Tratamiento de A. R. en poblaciones pequeñas

$$V_{Lodos} = \left( \frac{30000lb}{d} \right) \left( \frac{pie^3}{1.025 \times 62.4lb} \right) = 469 pie^3 / d$$

A partir de este volumen, calculamos la concentración de los sólidos en lodo antes de entrar al reactor ( $S_o$ ):

$$S_o = \frac{1200lb / día}{(8.34)(0.003508Mgal / día)} = 41016mg / lt$$

2. Calcular el volumen del reactor

Usando los coeficientes cinéticos, calcular el tiempo mínimo de retención hidráulica y aplicar el factor de seguridad 2.0 para determinar el valor de diseño.

$$\frac{1}{\theta_c^M} = Yk - K_d \quad \text{ec 18}$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = (0.1)(1.4) - 0.03 = 0.11$$

$$\theta_c^M = \frac{1}{0.11} = 9.1d$$

$$\theta_d = \theta_c^M FS \quad \text{ec 19}$$

$$\theta_d = (9.1 \times 2) = 18.2d$$

El valor requerido del reactor es

$$V_R = Q\theta_d \quad \text{ec 20}$$

$$V = (469)(18.2) = 8536 \text{ pie}^3$$

3. Determine la tasa de carga orgánica volumétrica (TCOV) en un día

$$TCOV = \frac{MOR}{V_R} \quad \text{ec 21}$$

$$TCOV = \frac{1200}{8536} = 0.14 \quad \text{Desempeño OK} \quad 0.05 < TCOV < 1.0.$$

4. Calcular el coeficiente Y, sobre la base de masa

Cálculo del coeficiente Y, con la producción observada.

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_d} \quad \text{ec. 22}$$

$$Y_{obs} = \frac{0.1}{1 + 0.03(18.2)} = 0.065 \quad \text{OK dentro del Rango Tabla 12 pag. 130}$$

Cálculo de la concentración de QDO del efluente del RAFA (S).

$$S = \frac{K_s (1 + \theta_d k_d)}{\theta_d (Yk - k_d) - 1} \quad \text{ec. 23}$$

$$S = \frac{2000(1 + 18.2 \times 0.03)}{18.2(0.1 \times 1.4 - 0.03) - 1} = 3086 \text{ mg} / L$$

Convirtiendo a unidades de lb DQO/d

$S(\text{mg/l}) * \text{Vol} * Fc = S$  en unidades lb DQO/día

$$3086(0.003508)(8.34) = 90.3 \text{ lb DQO} / d = S$$

La tasa de producción de biomasa es (TPB):

$$TPB = (Y_{obs} lb / lb) [(S_o - S) mg / L] (Q Mgal / d) [8.324 lb / Mgal.(mg / L)] \quad \text{ec. 24}$$

$$TPB = (0.64)(41016 - 3086)(8.34) = 72.1 lb DQO / d$$

5. Calcule el porcentaje de estabilización

$$\% Est = \frac{(MOR - S) - F(TPB)}{MOR} * 100 \quad \text{ec. 25}$$

$$\% Est = \frac{(1200 - 90.3) - 1.42(72.1)}{1200} * 100 = 83.9\%$$

6. Calcular el volumen de gas metano producido por día en condiciones estándares

$$lb DQO_{gas} = DQO_E - DQO_S - DQO_{CC} \quad \text{ec. 26}$$

lb DQO<sub>gas</sub>: lb de gas metano convertido

DQOE: DQO Entrada

DQOS: DQO Salida

DQOCC: DQO Convertido Células o Biomasa

$$lb DQO_{gas} = 1200 - 90.3 - (1.42 * 72.1)$$

$$lb DQO_{gas} = 1006.3 lb$$

Conversión de las libras de gas metano a volumen producido por día en pies<sup>3</sup>, con factor de conversión 5.61<sup>39</sup>.

$$V_{CH_4} = 5.61(1006.3) = 5651 \text{ pie}^3$$

Nota. Reactor trabajando a 20°C y 1.0 Atm. De presión

7. Calcular la producción total de gas.

Dado que el reactor tiene cerca de dos tercios de metano<sup>40</sup>, el volumen de gas producido es

$$V_T = \frac{2}{3} V_{CH_4} \quad \text{ec. 27}$$

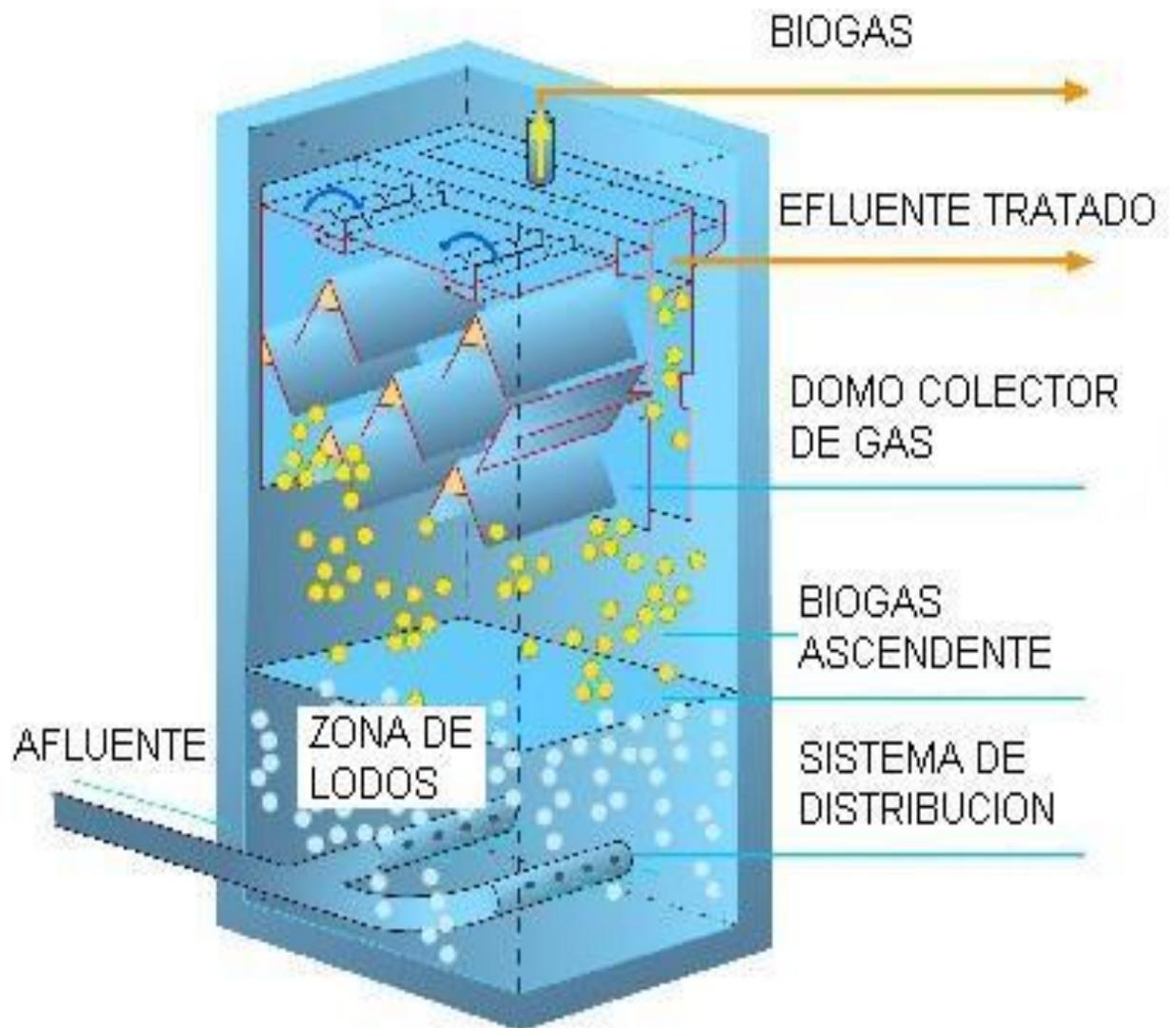
$$V_T = \frac{2}{3} (5651) = 8434 \text{ pie}^3$$

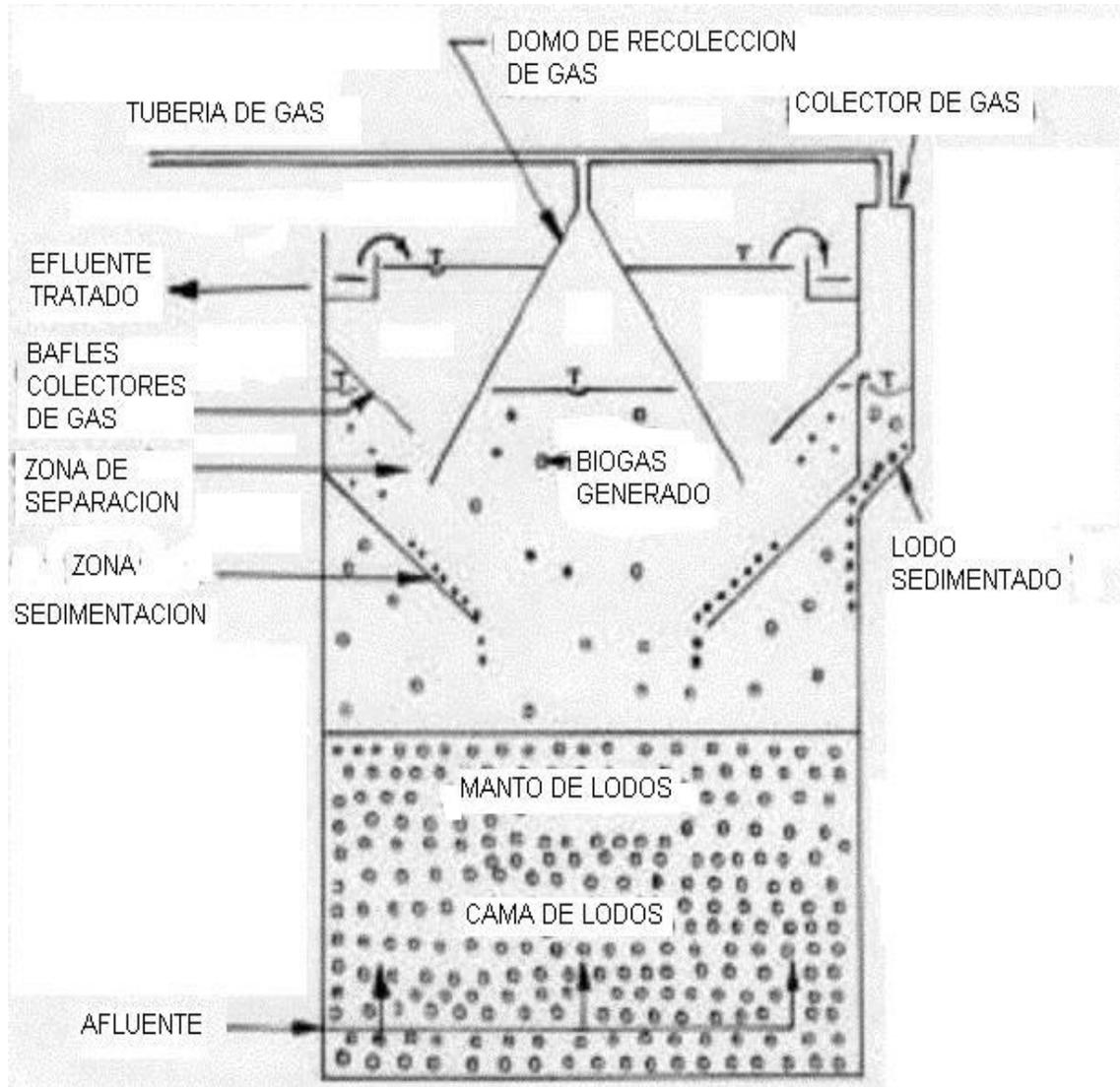
---

<sup>39</sup> Tchobanoglous, George, Tratamiento A.R. poblaciones pequeñas.

<sup>40</sup> Tchobanoglous, George, Tratamiento A.R. poblaciones pequeñas.

## 3.2.1.3 Diagramas





#### 3.2.1.4 Resultados

El ejemplo anterior, es utilizado análogamente para el diseño de cualquier unidad anaerobia. Por lo que las lagunas anaerobias, digestores anaerobios etc. se diseñan con los mismos principios. La diferencia entre los diferentes tratamientos radica en la forma, operación, tiempos de retención.

Por lo que, el diseño anterior se aplica a todos los reactores, y el RAFA, varía de los demás por su configuración de forma interna, los lechos y la cúpula receptora de gases. Como lo anteriormente expuesto en los diagramas.

En el ejemplo anterior comprobamos que la unidad de tratamiento remueve entre un 80% y 85% de carga contaminante. Además genera una pequeña cantidad de gas, que no varía de un RAFA a otro, esto es, que la recuperación de gas de un RAFA no es variable en las plantas de tratamiento pequeñas.

Además se debe tener mucho cuidado cuando se utilicen los coeficientes cinéticos, debido a la gran variedad de datos que se presentan en la tabla, y que en la realidad, caen dentro de este rango, dependiendo de la naturaleza del agua residual.

### 3.2.2 Lodos Activados

#### 3.2.2.1 Análisis del Sistema

Los lodos activados es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado aireador, los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación secundario, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o de aeración.

En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica contenida en el agua

residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc) los cuales tienen doble función 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados.

Tanque de aireación: Estructura donde el afluente y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. Se produce reacción biológica.

Tanque sedimentador secundario: El efluente mezclado procedente del tanque aireador es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un efluente tratado clarificado.

Equipo de aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.

Sistema de retorno de lodos: El propósito de este sistema es la de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación.

Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retomados al tanque de aireación.

Exceso de lodos y su disposición: El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos.

Los sistemas de fangos activados más comunes son:

Mezcla completa

Flujo en pistón

Canales o zanjas de oxidación

Contacto – estabilización

Reactores discontinuos secuenciales

En nuestro trabajo de graduación nos enfocaremos en estudiar el sistema de lodos activados de mezcla completa, cuyo funcionamiento, mantenimiento, costo y construcción es más sencillo.

Lodos activados de mezcla completa

Estos poseen características uniformes en todo el sistema. Tienen forma circular o cuadrada y algunas veces son rectangulares de acuerdo al espacio y forma de la planta de tratamiento. La aireación puede ser proporcionada por turbinas superficiales cuyo nivel de inmersión es ajustable con la regulación del caudal de salida, por sistemas de aireación por medio de difusores de burbujas sumergidos, o por otro sistema de mezcla aireada como cascadas etc.

### 3.2.2.2 Diseño Hidráulico Sanitario

Determinar para un sistema de lodos activados de mezcla completa lo siguiente:

El volumen del tanque de aireación  $V_a$

El tiempo de retención hidráulico  $\Phi$

El volumen del lodo residual diario  $Q_w$

La masa de lodo residual diario  $Q_w \cdot X_w$

La fracción de lodo recirculado  $Q_r/Q_o$

La relación alimento microorganismo F/M o carga másica  $C_m$

Datos:

Población Equivalente 50,000 Hab (11,250 m<sup>3</sup>/día)

DBO<sub>5</sub> en el afluente ( $S_o$ ) = 200 mg/l

Efluente necesario DBO<sub>5</sub> = 10 mg/l

Coeficiente rendimiento biomasa  $Y = 0.6$

Tasa muerte celular  $K_d = 0.06 \text{ d}^{-1}$

Suponer:

Sólidos en suspensión del líquido mezcla (SSLM) en el tanque aireación  $X = 3.5 \text{ Kg/m}^3$

SSLM en sedimentador  $X_w = 15,000 \text{ mg/l}$  (15 Kg/m<sup>3</sup>)

Tiempo de residencia medio por célula  $\Phi_c = 10$  días

Solución:

Volumen del tanque de aireación

$$X = \frac{\phi_c}{\phi} Y \left( \frac{S_o - S}{1 + k_d \phi_c} \right) \quad \text{ec.28}$$

$$\phi = \frac{V}{Q_o} \quad \text{ec.29}$$

$$V = \phi Q_o$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores obtenemos:

$$X = \frac{\phi_c}{V} Q_o Y \left( \frac{S_o - S}{1 + k_d \phi_c} \right)$$

$$V = \frac{\phi_c}{X} Q_o Y \left( \frac{S_o - S}{1 + k_d \phi_c} \right)$$

Unidades consistentes en m<sup>3</sup>, Kg, día

$$V = \frac{10 \times 11250 \times 0.6}{3.5} \left( \frac{0.2 - 0.01}{1 + (0.06 \times 10)} \right) = 2.29 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención hidráulica

$$\phi = \frac{V}{Q_o}$$

$$\phi = \frac{2290}{11250} = 0.2 \text{ d} = 4.9 \text{ horas}$$

Volumen del lodo residual ( $Q_w$ )

$$Q_w = \frac{VX}{\phi_c X_w} \quad \text{ec. 30}$$

$$Q_w = \frac{2290 \times 3.5}{10 \times 15} = 53.4 m^3 / d$$

Masa de lodo residual diario ( $Q_w X_w$ )

$$Q_w X_w = 53.4 \times 15 = 801 \text{ kg / día}$$

Fracción de lodo recirculado ( $Q_r/Q_o$ )

Haciendo un análisis de balance de materia y suponiendo que la concentración de biomasa en el efluente es cero tenemos la siguiente ecuación para el efluente de lodo recirculado

$$(Q_o + Q_r)X = (Q_o - Q_w)X_e + Q_u X_w \quad \text{ec. 31}$$

$$Q_u = (Q_r + Q_w)$$

$$(Q_o + Q_r)X = (Q_o - Q_w)X_e + (Q_r + Q_w)X_w$$

Donde

$Q_o$ : Caudal del afluente

$Q_r$ : Caudal recirculado

$Q_w$ : Caudal de lodos

$X_e$ : Concentración de Biomasa del efluente

$X_w$ : Concentración de biomasa en los lodos

Despejando  $Q_r$  y haciendo  $X_e=0$

$$Q_r = \frac{Q_o X - Q_w X_w}{X_w - X}$$

$$Q_r = \frac{11250 \times 3.5 - 801}{15 - 3.5} = 3.354 m^3 / d$$

$$\frac{Q_r}{Q_o} = \frac{3.354}{11250} \times 100 = 29.8\%$$

La relación F/M

$$F/M = \frac{Q_o S_o}{VX} \quad \text{ec. 32}$$

$$F/M = \frac{11250 \times 0.2}{2.29 \times 3.5} = 0.28$$

## 3.2.2.3 Diagramas

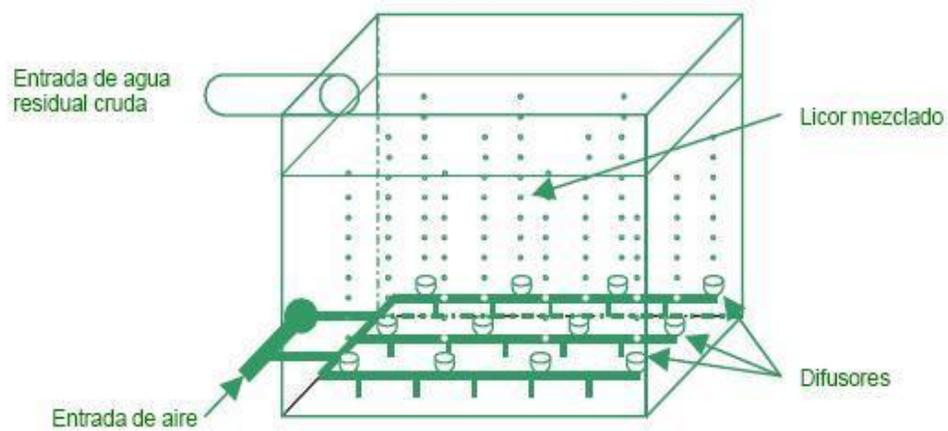
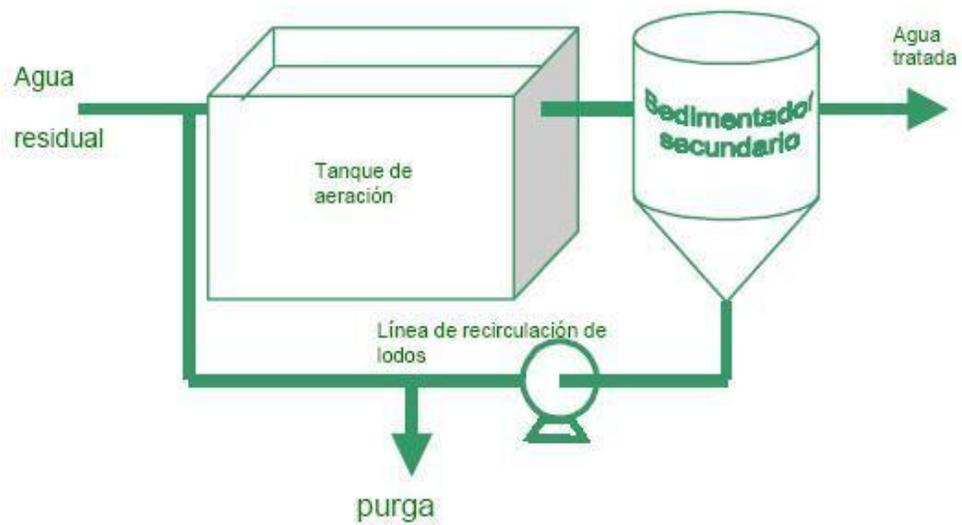
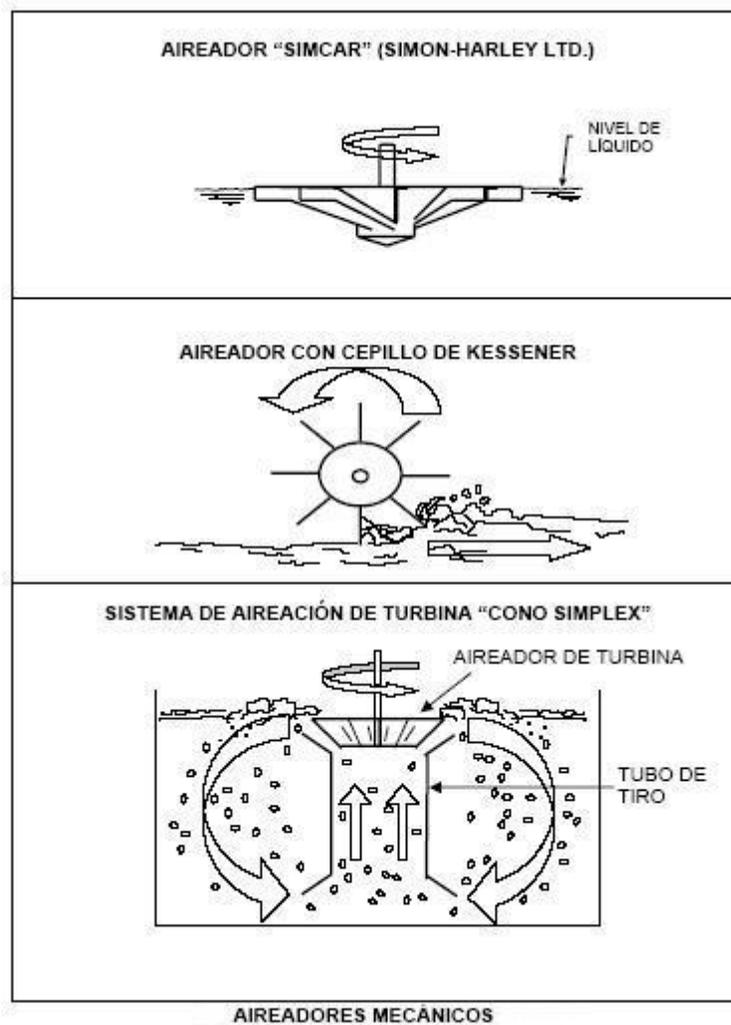
**Figura 14 Diagrama típico de Lodos Activados**

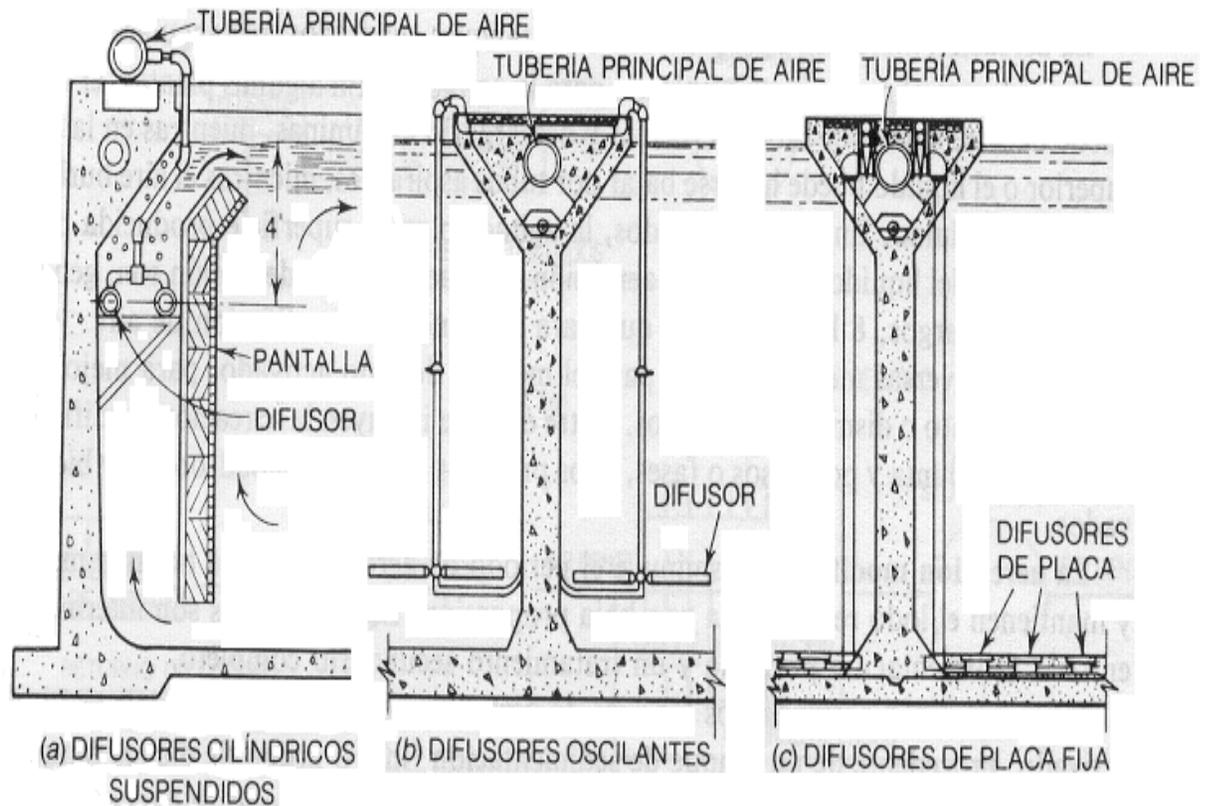
Figura 2.2 Tanque de aeración de un sistema de lodos activados



El diagrama típico de una planta de lodos activados.

**Figura 15 Aireadores Mecánicos**

**Figura 16 Difusores de Aire**



#### 3.2.2.4 Resultados

Los valores bajos de la relación F/M como sucede en sistemas de mezcla completa, son muy resistentes a cargas de choque dentro del tanque aireador. Este indica una aireación prolongada con crecimiento endógeno de bacterias y una eficiencia de eliminación de DBO del 85% a 95%.

La elección del sistema de aireación, dependerá del aspecto económico de cada beneficio de café, ya que existen muchas variedades de aireadores,

como por ejemplo difusores porosos y no porosos, de chorro, soplantes y aspas mezcladoras. Además se puede adoptar un sistema de aireación de cascadas.

Es muy importante que el lodo recirculado entre al tanque de aireación en diversos puntos de este, ya que mejora la mezcla y la aireación del mismo, aumentando la eficiencia del sistema.

El tanque sedimentador del sistema de lodos activados, se presentará en el sistema secundario de tratamiento.

### 3.2.3 Lagunas Anaerobias, Aerobias y Facultativas.

#### 3.2.3.1 Análisis de los sistemas

El término laguna indica un sistema de retención de aguas, de construcción humana, con cualquier propósito; el propósito suele estar indicado por el término a continuación de laguna. Se encuentran lagunas para regadío, para alimentación de centrales hidroeléctricas, de tratamiento de aguas servidas y muchas otras.

Las lagunas de tratamiento de aguas servidas, algunas veces llamadas de estabilización, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales momentáneos y posteriores. Los parámetros suelen estar relacionados con el potencial de riesgo a la salud pública, la cantidad de orgánicos disueltos, los sólidos suspendidos, las materias grasas, el contenido

de nitrógeno orgánico, el contenido de fosfatos, la ausencia de olor y la ausencia de color.

#### a) Lagunas anaerobias

Son estanques relativamente profundos de 2 a 5 metros, en donde los procesos de estabilización se llevan a cabo en ausencia de oxígeno libre y sin actividad fotosintética.

La estabilización se lleva a cabo mediante descomposición y conversión anaerobia y productos finales de bióxido de carbono, metano, ácido orgánico, gases y tejido celular.

Se emplean como primera unidad del sistema en casos donde la disponibilidad del terreno es ilimitada o para el tratamiento de aguas residuales con elevada carga orgánica. Se diseñan de manera que funcione como sedimentador y digestor de lodos abierto, sin mezcla completa.

Debido a las altas cargas que soporta (1000 Kg DBO/hab/día) y a la reducida eficiencia que se logra en el efluente que produce, requiere de tratamiento adicional, que puede consistir en una laguna facultativa posterior dispuesta en serie. Las lagunas anaeróbicas son menos eficientes para la reducción de organismos coliformes.

La estabilización de la materia orgánica se logra por fermentación anaeróbica. En la descomposición anaeróbica las reacciones son más lentas y tardan alrededor de 15 días, las aguas toman color negro grisáceo, de aspecto

desagradable y con producción de malos olores. En las lagunas anaerobias se distinguen dos fases:

Fermentación inicial y

Formación de gases metano y bióxido de carbono.

b) Lagunas aeróbicas

Se conoce como lagunas de alta producción de biomasa; utilizan el oxígeno producido por medio de la fotosíntesis, para realizar la descomposición. Donde la energía de la luz es absorbida por los cloroplastos de las células; y el que se tomó en la interfase agua - aire sirve para mantener el mismo nivel de oxígeno disuelto en toda su profundidad. Las lagunas aeróbicas son poco profundas cerca de 0.5 m a 1.0 m, los tiempos de retención son relativamente cortos (2 a 6 días) y con cargas variables de DBO entre 110 y 200 Kg/hab/día.

En el estanque aeróbico la estabilización de la materia orgánica es llevada a cabo por la acción de las bacterias aeróbicas, con producción de protoplasma bacteriano, bióxido de carbono y agua como productos finales, las algas producidas toman el bióxido de carbono, el agua y los minerales inorgánicos lo emplean en la construcción de su protoplasma, eliminando a su vez oxígeno, el cual mantiene en equilibrio la aerobiosis del estanque. En el proceso de estabilización pueden distinguirse tres etapas:

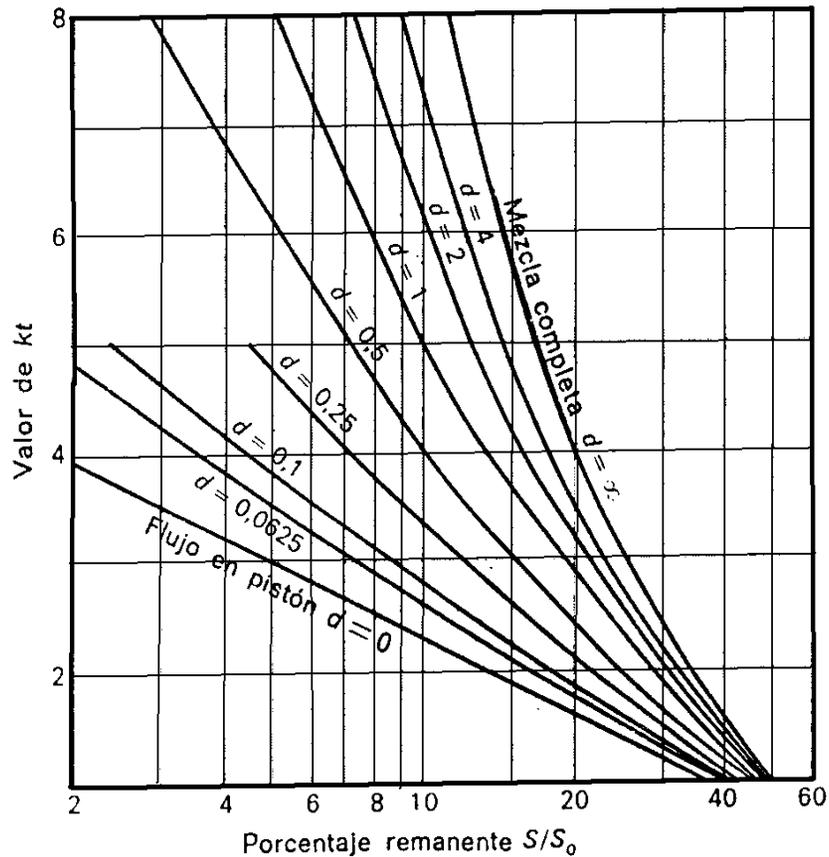
Transformación de la materia orgánica para obtener energía: las bacterias y los hongos oxidan la materia orgánica, utilizando el oxígeno disuelto en el agua y produciendo energía.

Síntesis del material celular: utilizan la energía de la etapa anterior para sintetizar nuevo material celular

Autodestrucción o fase endógena: a medida que avanza el grado de estabilización de la materia orgánica, disminuye la cantidad de sustrato disponible y se inicia la fase endógena del crecimiento.

La siguiente gráfica, muestra el porcentaje de remoción contra el valor del producto  $Kt$ .

**Gráfico 2 Remanente de DBO Contra Factor Kt**



Relación entre los valores de  $kt$  de la ecuación de Wehner y Wilhelm y el porcentaje de sustrato remanente para varios factores de dispersión

c) Lagunas Facultativas

Puede distinguirse tres zonas en las lagunas facultativas:

Superficial aerobia, donde existe la relación simbiótica entre las algas y bacterias

Intermedia facultativa, donde ocurre la degradación aerobia, muerte de las bacterias aerobias, sedimentación de los lodos.

Inferior anaerobia, donde los sólidos acumulados son descompuestos por bacterias anaerobias.

Las partículas mayores se sedimentan para formar una capa de lodos en el fondo y la descomposición anaerobia de los sólidos produce sólidos orgánicos disueltos y gases como el bióxido de carbono y metano.

En la superficie y la zona intermedia, la materia coloidal y soluble es oxidada por las bacterias aerobias y facultativas quienes utilizan el oxígeno producido por las algas que crecen abundantemente cerca de la superficie del agua.

Las lagunas facultativas se oxigenan principalmente por la actividad fotosintética de las algas bajo la influencia de la radiación solar, la aireación superficial por la acción del viento también aporta una importante proporción de oxígeno, más durante la noche, cuando las algas producen o demandan oxígeno en estado de  $\text{CO}_2$ , en la misma forma que las bacterias.

A causa de la absorción de la luz solar por las células de las algas, la penetración efectiva de la luz puede ser inferior a un metro, en consecuencia, la formación de oxígeno suele quedar limitado a la capa superior.

Generalmente cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (menor de 300 kg DBO /hab/día), y la temperatura ambiente varía entre 15° y

30° C, en el estrato superior de la laguna suelen desarrollarse poblaciones de algas microbianas, que en presencia de la luz solar producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que haya una alta concentración de oxígeno disuelto en muchos casos llega a valores de sobresaturación. La parte inferior de las lagunas facultativas suelen estar en condiciones anaeróbicas. Conviene que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones definitivamente facultativas o definitivamente anaeróbicas, ya que el oxígeno es un tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso. Se recomienda diseñar las lagunas facultativas a 20° C para cargas orgánicas mayores de 100 Kg DBO/hab/día; cuando la carga orgánica aplicada se encuentra entre los dos límites se pueden presentar problemas con malos olores y la presencia de bacterias formadoras de sulfuros.

### 3.2.3.2 Diseño Hidráulico Sanitario

#### a) Diseño de lagunas aerobias

Diseñe una laguna de estabilización aerobia para tratar un caudal de agua residual de 3785 m<sup>3</sup>/día, con una DBOL soluble de 100 mg/l, supóngase que son de aplicación las siguientes condiciones:

Sólidos suspendidos = despreciables

Eliminación de DBOL = 90%

Constante de eliminación de la DBOL soluble de 1er orden

CE= 0.25 a 20°C

Coeficiente de temperatura  $\theta = 1.06$  a 20°C

Temperatura del estanque en verano = 32°C

Temperatura estanque en invierno = 10°C

Area máxima de estanque individual = 4 ha.

Profundidad máxima del estanque h = 0.90 m

Factor de dispersión del estanque = 1

Solución:

A partir de la Gráfica 2 se determinale valor de kt para el estanque, con un factor de dispersión de 1 y una eficiencia de eliminación del 90% (remanente del 10%)

K.t = 5

Tiempo de retención para condiciones invernales

$$k_E = CE(\theta)^{t_E - t_\theta} \quad \text{ec. 33}$$

Donde:

$k_E$  Constante de tiempo correspondiente a la estación

CE: Constante de eliminación de DBO

$t_E$ : Temperatura de la correspondiente estación

$t_0$ : Temperatura a los 20° C

$$k_{10} = 0.25(1.06)^{10-20} = 0.14$$

Sustituyendo y resolviendo para t: en K.t=5

$$0.14t = 5$$

$$t = 35.7 \text{ días}$$

Tiempo de retención para condiciones de verano

$$k_{32} = 0.25(1.06)^{32-20} = 0.5$$

Resolviendo

$$0.5t = 5$$

$$t = 10 \text{ días}$$

Rige la condición invernal porque necesita mayor tiempo de retención para estabilizar la materia orgánica del agua.

Calculo de la superficie de estanque

De la formula del caudal tenemos

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

$$Qt = V$$

Donde

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

V: Volumen m<sup>3</sup>

t: Tiempo en s

$$V = Ah$$

V: Volumen m<sup>3</sup>

A: Area m<sup>2</sup>

h: Profundidad m

$$Qt = Ah$$

Despejando A y sustituyendo valores

$$A = \frac{3785 \times 35.7}{0.9}$$

$$A = 150138m^2 \approx 15 \text{ Ha}$$

Utilizar cuatro estanques de 3.75 Ha. Si fuese necesario prever algún programa de mantenimiento, uno de los estanques puede estar fuera de servicio durante el verano.

Lagunas anaerobias

El diseño de estanques de estabilización anaerobia, se ajusta a los principios de los digestores anaerobios, a excepción del mezclado.

Diseñar una laguna de estabilización anaerobia, para atender un caudal de 462 m<sup>3</sup>/día, con una profundidad de 2.5 m. utilizando un factor de seguridad FS = 2, operando a una temperatura de 36°C

Coeficientes cinéticos

Constante de hidrólisis  $k = 1.4 \text{ d}^{-1}$

Constante de Monod  $K_s = 2000 \text{ mg DQO / L}$

Coeficiente Rendimiento Biomasa  $Y = 0.1 \text{ mg Sólidos Suspendidos. Volátiles / mg DQO}$

Tasa de muerte celular  $K_d = 0.03 \text{ d}^{-1}$

Calcular el área de la laguna.

Usando los coeficientes cinéticos, calcular el tiempo mínimo de retención hidráulica y aplicar el factor de seguridad 2.0 para determinar el valor de diseño.

La configuración geométrica de la laguna anaerobia, se muestra en los diagramas, y puede ser considerada como tratamiento primario para posteriores tratamientos

$$\frac{1}{\theta_c^M} = Yk - K_d \quad \text{ec 18}$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = (0.1)(1.4) - 0.03 = 0.11$$

$$\theta_c^M = \frac{1}{0.11} = 9.1d$$

$$\theta_d = \theta_c^M FS \quad \text{ec 19}$$

$$\theta_d = (9.1 \times 2) = 18.2d$$

El valor requerido de la laguna es

$$V_R = Q\theta_d \quad \text{ec 20}$$

$$V = (469)(18.2) = 8536 \text{ pie}^3$$

c) Lagunas Facultativas.

Diseñe una laguna de estabilización facultativa para tratar un caudal de agua residual de 3785 m<sup>3</sup>/día. Suponga lo siguiente:

Sólidos suspendidos en el afluente = 200 mg/l

DBO5 afluente = 200 mg/l

Temperatura del agua en verano = 25° C

Temperatura del agua en invierno = 15° C

Constante global de eliminación DBO5 de primer orden CE = 0.25 día<sup>-1</sup>

Coeficiente de temperatura  $\theta = 1.06$

Profundidad del estanque h = 1.8 m

Factor de dispersión del estanque = 0.5

Eficiencia total de eliminación DBO5 = 80%

Solución:

A partir de la gráfica 2 se determina el valor de  $kt$  para un factor de dispersión de 1.0 y eficiencia de eliminación 80% (remanente 20%)

$$kt = 2.9$$

Tiempo de retención para condiciones invernales:

$$k_{15} = 0.25(1.06)^{15-20} = 0.186 \quad \text{ec. 33}$$

Sustituyendo valores en  $kt = 2.9$

$$0.186t = 2.9$$

$$t = 15.6 \text{ días}$$

Tiempo de retención para condiciones de verano

$$k_{25} = 0.25(1.06)^{25-20} = 0.336$$

Resolviendo

$$0.336t = 2.9$$

$$t = 8.6 \text{ días}$$

Rige la condición invernal.

Determinación del área superficial.

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

$$Qt = V$$

$$V = Ah$$

$$Qt = Ah$$

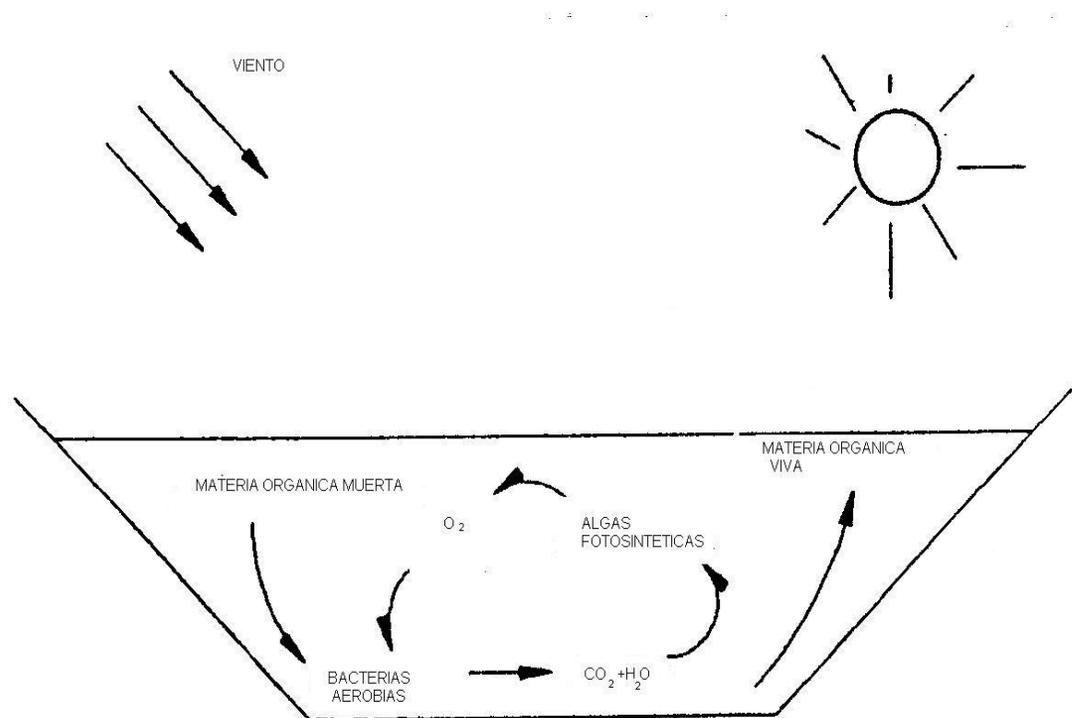
Sustituyendo valores

$$A = \frac{3785 \times 15.6}{1.8}$$

$$A = 32803m^2 \approx 3.38 \text{ Ha}$$

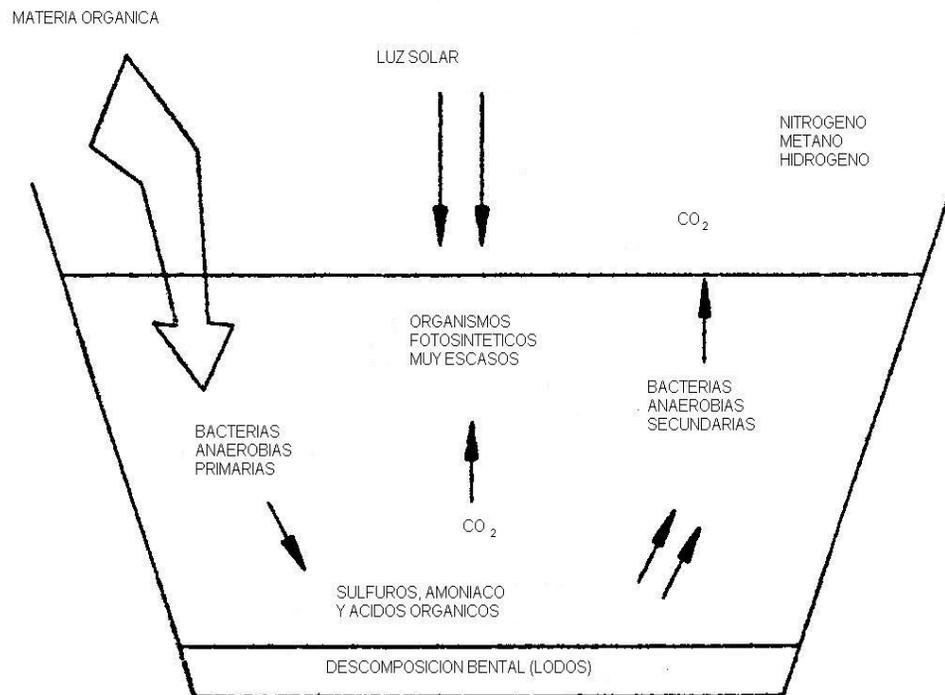
Se utilizarán aireadores superficiales para mantener las condiciones facultativas y evitar malos olores.

## 3.2.3.3 Diagramas

**Figura 17 Laguna Aerobia<sup>41</sup>****Esquema de Laguna Aerobia**

<sup>41</sup> Gonzalez Moreno, Alfredo Antonio, Lagunas de Estabilización, Teoría y Comportamiento, Trabajo de Graduación universidad de El Salvador 1974

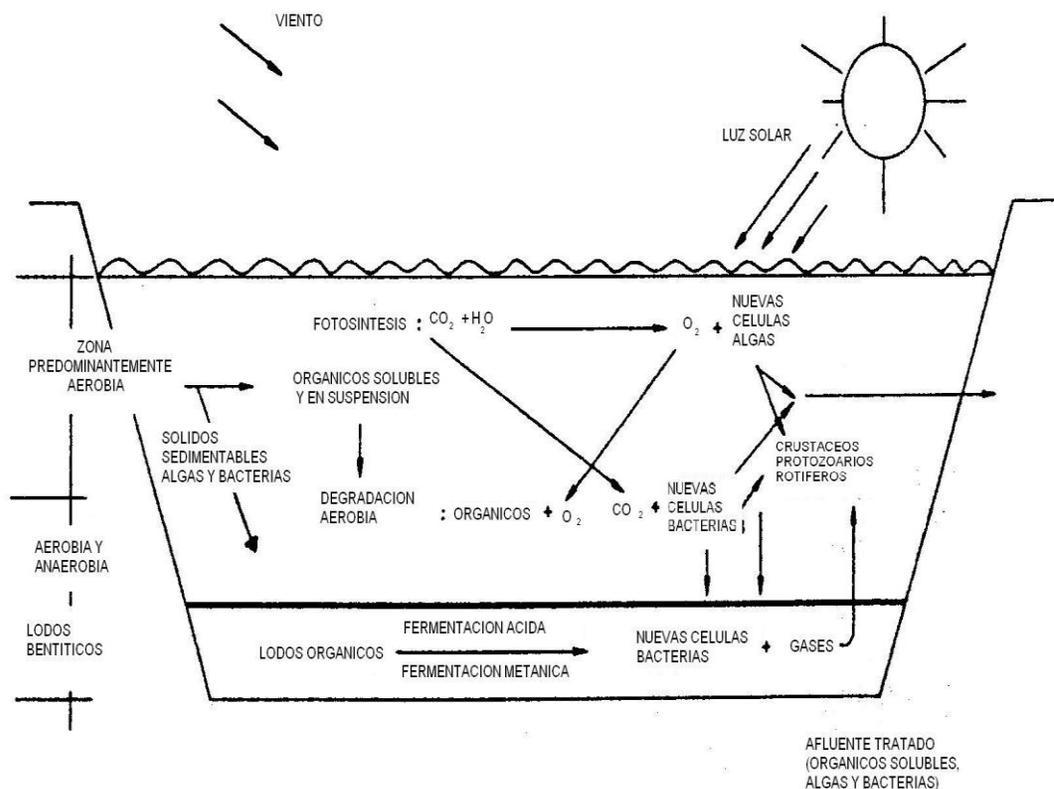
**Figura 18 Laguna Anaerobia<sup>42</sup>**



**Esquema de una Laguna Anaerobia.**

<sup>42</sup> Gonzalez Moreno, Alfredo Antonio, Lagunas de Estabilización, Teoría y Comportamiento, Trabajo de Graduación universidad de El Salvador 1974

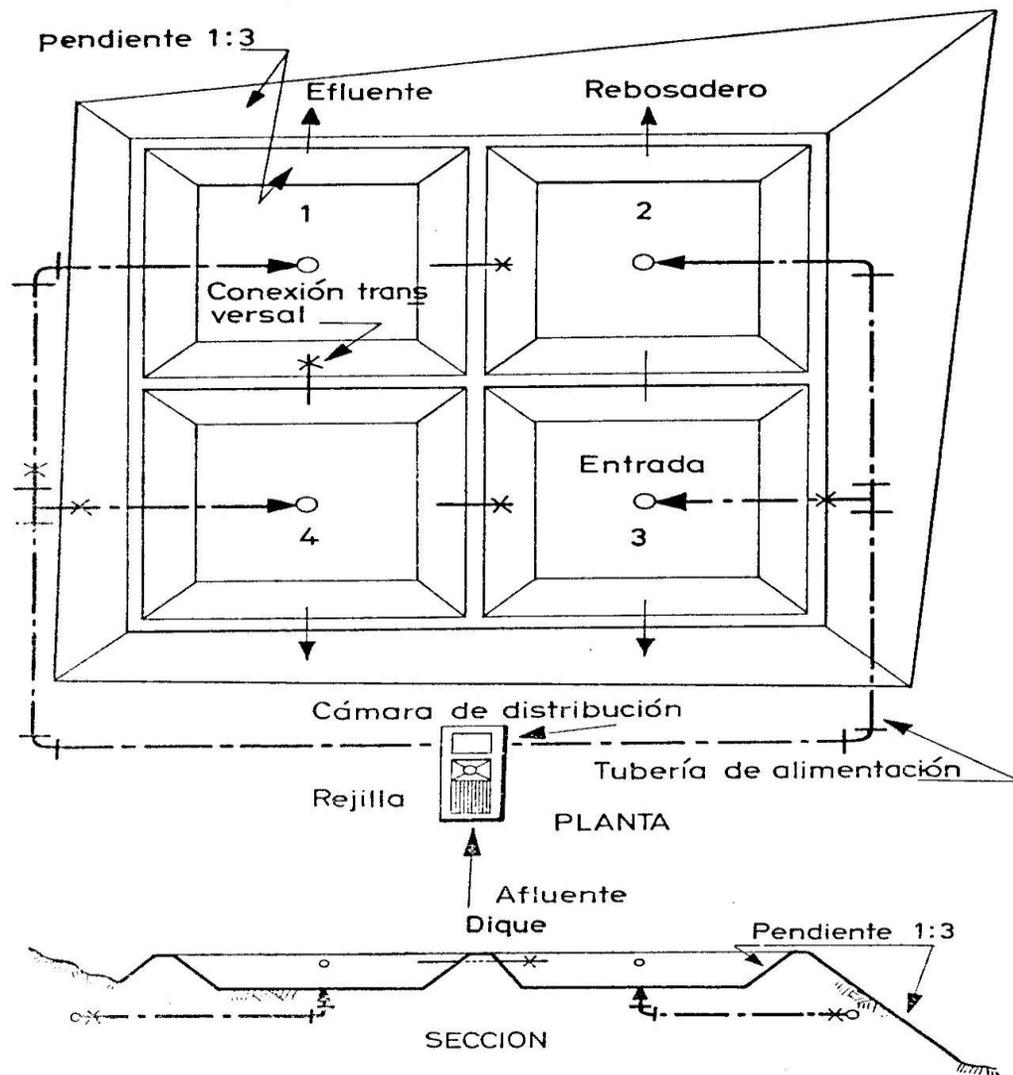
Figura 19 Laguna Facultativa<sup>43</sup>



Representación Esquemática de Reacciones Biológicas de una Laguna Facultativa

<sup>43</sup> Gonzalez Moreno, Alfredo Antonio, Lagunas de Estabilización, Teoría y Comportamiento, Trabajo de Graduación universidad de El Salvador 1974

Figura 20 Distribución de Lagunas de Estabilización<sup>44</sup>



Esquema para lagunas de estabilización (sin escala).

<sup>44</sup> Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, México 1996, ed McGraw Hill

### 3.2.3.4 Resultados

Las lagunas anaerobias remueven entre un 50% y 60% de la DQO y el 50% de la DBO en el agua residual, también remueven hasta un 80% de los sólidos en el agua.

Las lagunas aerobias remueven entre un 80% y 90% de la carga contaminante (DBO y DQO) y un 85% de los sólidos suspendidos.

Mientras que las lagunas facultativas remueven entre un 70% y 80% de la carga contaminante (DBO y DQO) y los sólidos en el agua residual.

#### Consideraciones sobre diseño de lagunas

Frecuentemente sobreestimar las lagunas para que no se llenen demasiado rápido y no haya rebalse

Verificar caudal total y per cápita, así como concentración DBO

Diseñar para caudal proyectado sólo 5 años

Construir en unidades paralelas

Facilitar mantenimiento

Permitir expansión modular cuando caudal aumenta

Posibilitar interconexiones entre lagunas anaeróbicas o facultativas paralelas para posibilitar remoción de lodos

Facilitar drenajes y desvíos

Las lagunas rectangulares tienen mejor desempeño hidráulico

Relación longitud ancho 2:1 a 4:1

Depósito más profundo en la entrada para crear zona anaeróbica para deposición y digestión de sólidos

En los diques pendientes 1 : 3

En diques con suelos muy estables 1:2

Se recomienda revestimiento de orillas

Proteger diques y taludes de erosión por acción de olas

Controlar la vegetación

Mantener la tasa de infiltración del fondo < 10% influente (10 mm/día)

Generalmente auto sellado el fondo

Aplicar arcilla o cubrir con arcilla y compactar

Se recomienda tubos múltiples sumergidos de entrada para buena distribución

Rejilla para control de sólidos gruesos

Interconexiones

Flujo de diseño = 1.5 el caudal diario promedio

Utilizar conducto inclinado si diferencia niveles > 1 m

Incorporar vertedero triangular o rectangular para medición de efluente

Salidas superficiales deben incorporar pantallas

Diseño de desagüe de profundidad variable permite algún control de algas

Usar lagunas rectangulares (2:1 a 4:1)

Poner eje longitudinal paralelo al viento para maximizar mezcla

Salida hacia el viento

Ubicar entrada y salida para maximizar distancia

Reducir cargas o agregar lagunas

Proveer aeración ( $0.1 \text{ W/m}^3$ )

Aumentar área de diseño en 50%

### 3.2.4 Biodigestores

#### 3.2.4.1 Análisis del Sistema

Los biodigestores son tanques cerrados dentro de los cuales la materia orgánica es degradada en condiciones anaeróbicas, es decir sin oxígeno, por acción de microorganismos transformándola en metano, dióxido de carbono (biogás) y agua (bioabono).

Los biodigestores convencionales son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos como el estiércol de bovinos, porcinos y materiales orgánicos de otros animales, que se degradan

con tiempos de retención superiores a 20 días. Se diferencia de los sistemas de alta tasa como los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA), empleados para depurar las aguas residuales diluidas con materia orgánica soluble como aguas mieles de café, vinazas, domésticas, etc., en los tiempos de retención ya que son relativamente cortos y oscilan entre 6 y 72 horas, para tratar el sustrato.

### Beneficios de los Biodigestores

La implantación de un biodigestor genera los siguientes beneficios:

#### a) Beneficios Ambientales

Reduce en un 70% la carga contaminante que se vierte generalmente a las corrientes superficiales.

Permite disminuir la tala de los bosques debido al reemplazo de la leña por el biogás.

Contribuye a la disminución de proliferación de vectores y olores.

#### b) Beneficios Sociales

Mejora las condiciones de las labores domésticas (preparación de la comida) por la disminución de humos cuando se sustituye la leña por el biogás.

Mejora las condiciones de vida de los trabajadores del beneficio de café.

#### c) Beneficios Económicos

Reducción en un 70% en la compra de otros combustibles.

Ahorro en la compra de abonos químicos.

Factores Limitantes para la Aplicación de la Tecnología.

Temperatura menores 18°C

Producción de pulpa de café menor que 20 kg/día

Animales no estabulados

Dificultad para consecución materiales de construcción

Falta de agua

Falta de equipos para uso del biogás

Falta de personal para realizar las labores de operación y mantenimiento de la planta.

Altos costos para la ejecución de la obra

Falta de créditos de financiación

Falta de apoyo del Gobierno en el sector Agrario

Situación económica difícil.

El arranque del biodigestor se debe realizar después de efectuar la prueba de presión con el fin de verificar la no existencia de fugas en la cúpula. La planta se llena con agua inoculando la pulpa de café preferiblemente, o estiércol de ganado vacuno y los lodos generados en la planta en elementos anteriores.

La operación de los biodigestores, implica realizar las siguientes labores:

Cargar la planta continuamente, mezclando el material para homogenizarlo antes de introducirlo a la planta.

Revisar las trampas de agua y las llaves de paso.

Revisar las compuertas que separan las aguas lluvias de las aguas residuales.

Quemar el gas producido evitando así malos olores.

Controlar escapes de gas.

#### Tipo de Biodigestores

De acuerdo al método de carga utilizado se distinguen dos tipos genéricos de biodigestores:

a) Biodigestores de flujo discontinuo: Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas. En esas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral. El digestor es sellado, y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este período, la producción de gas aumenta paulatinamente

hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánicos de 6 a 10%.

b) Digestores de flujo continuo: Los digestores de flujo continuo son cargados y descargados en forma periódica, por lo general todos los días. Cualquier tipo de construcción es apropiada para una planta continua, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme.

#### 3.2.4.2 Diseño Hidráulico Sanitario

a) Materia prima para carga

$$MPC = P + M + AM \quad \text{ec. 34}^{45}$$

Donde:

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

P = Pulpa en kilogramos por día

M = Mucílago en kilogramos por día.

AM = Agua miel en kilogramos por día

b) Porcentaje de sólidos totales

$$\%ST = \frac{(P + M)\%PM}{MPC} 100 \quad \text{ec. 35}$$

Donde,

%ST = Porcentaje de sólidos totales en la materia prima para carga

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

%PM = Porcentaje de sólidos en la pulpa y mucílago.

P+M = Pulpa y mucílago en kilogramos por día

c) Sólidos totales

$$ST = \frac{\%ST.MPC}{100} \quad \text{ec. 36}$$

Donde,

ST = Cantidad de sólidos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día.

%ST = Porcentaje de sólidos en la carga o materia prima, el cual debe ser inferior al 10%.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

d) Masa de agua para mezcla

Solamente se calcula cuando el porcentaje de sólidos totales (%ST) es superior al 10%.

$$M_{H_2O} = \frac{MPC(ST)}{10} - MPC \quad \text{ec. 37}$$

<sup>45</sup> Unidad de Planeación Minero Energética, Guía para la implementación de producciones de biogas, Bogota Colombia 2003.

Donde,

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

ST = Cantidad de sólidos orgánicos contenidos en la materia prima para carga, en kilogramos por día.

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día

e) Carga

$$C = MPC + M_{H_2O} \quad \text{ec. 38}$$

Donde,

C = carga diaria para alimentar el digestor en kilogramos por día o litros por día (se asume que un litro pesa un kilogramo).

MPC = Materia prima para carga en kilogramos por día.

MH<sub>2</sub>O = Masa de agua para mezcla que disminuye hasta un 10% los sólidos orgánicos contenidos en la materia prima, en kilogramos por día.

f) Cálculo del tiempo de retención

El posible tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga diaria. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo a la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, utilizando la relación generada en la

$$TR = -51.227 \ln T + 206.72 \quad \text{ec. 39}$$

donde,

TR= Tiempo de retención en días

Ln= Logaritmo natural

T= Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor

g) Volumen del Biodigestor

$$V_d = C(TR)1.2 \quad \text{ec. 40}$$

Donde,

Vd = Volumen del digestor, en litros

C = Carga diaria para alimentar el digestor en litros por día

TR = Tiempo de retención en días.

1,2 = Volumen adicional del 20% para el almacenamiento del biogás

h) Calculo de la posible producción de biogás

$$PG = MPC(SO)P \quad \text{ec. 41}$$

Donde,

PG = Gas producido en litros por día

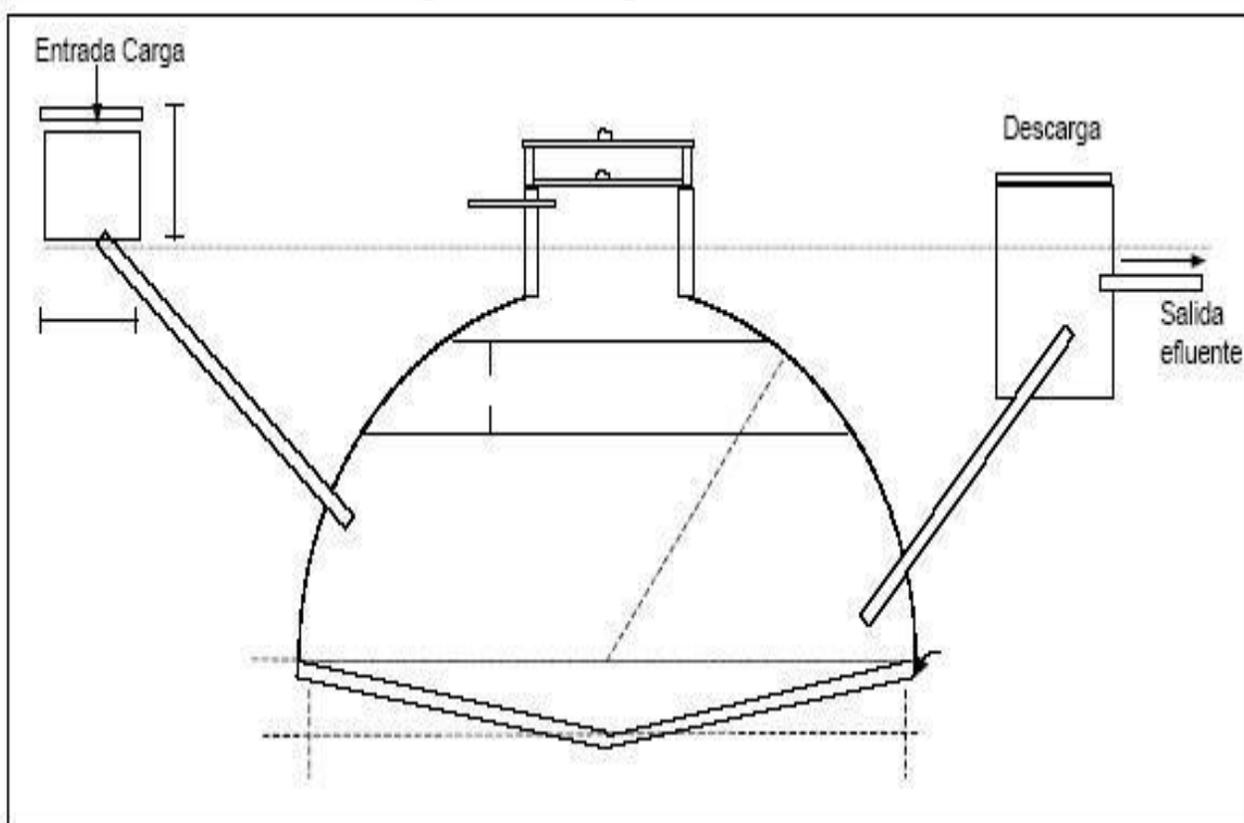
MPC = Materia Prima de Carga en kilogramos por día

SO = Porcentaje de materia orgánica de la pulpa y mucílago.

P = Producción aproximada de m<sup>3</sup> de gas/1 kg masa orgánica seca total, 0.35<sup>46</sup>

### 3.2.4.3 Diagramas

**Figura 21 Biodigestor<sup>47</sup>**



○ Digestor de estructura sólida fija, tanque cilíndrico.

<sup>46</sup> Unidad de Planeación Minero Energética, Guía para la implementación de producciones de biogas, Bogota Colombia 2003.

#### 3.2.4.4 Resultados

El biodigestor remueve entre un 60% y 70% de la carga contaminante y los sólidos en el agua residual.

Para asegurar un rendimiento óptimo del digestor deben considerarse los siguientes aspectos:

a) Nivel de amoníaco. Para un correcto funcionamiento, los niveles de amoníaco dentro de los digestores deben mantenerse por debajo de los 2000 mg/litro.

b) Mantenimiento del pH en el digestor.

Valores de pH para la Producción del Biogás

PH	Producción
7-7.2	Óptimo
6.2	Retarda la acidificación
7.6	Retarda la amonización

Esto significa que la carga de fermentación no debe ser ni alcalina ni ácida. Si la carga del digestor es demasiado alta, el valor del pH disminuye.

<sup>47</sup> Unidad de Planeación Minero Energética, Guía para la implementación de producciones de biogás, Bogotá Colombia 2003.

c) En caso de cambiar el tipo de materia prima que se utiliza para la carga, se debe redimensionar el biodigestor para adaptarlo a las nuevas condiciones.

d) No introducir en el digestor fertilizantes fosfatados. Las condiciones de ausencia de aire producen compuestos de fósforo altamente tóxicos.

e) No hacer llama en sitios cercanos.

f) No usar el gas inmediatamente después de retirar el efluente del tanque de almacenamiento del digestor. Al realizar esta operación de descarga puede producirse eventualmente un efecto de presión negativa que puede tener las siguientes consecuencias: Devolver la llama al digestor, provocando una explosión ó Introducir aire al digestor, lo cual sería nocivo para el proceso. Por ello se recomienda compensar el sistema alimentando al digestor una cantidad igual (carga diaria) al volumen de efluente retirado del tanque. Efectuada esta operación se deja transcurrir un tiempo prudencial (no más de ½ hora) para que se restablezca la presión positiva antes de usar el gas.

g) Como una buena práctica, para un esquema de cualquier tamaño se necesitará tener en cuenta que se hará cuando el digestor alcance el final de su vida útil.

Algunas recomendaciones sobre la ubicación del digestor son:

- No debe estar próximo a corrientes o nacimientos de agua.
- Evitar las zonas con tráfico continuo de personas o animales.
- Cerca del sitio donde se usa el efluente.
- La distancia mínima a lugares muy calientes o donde haya llama debe ser de 30 metros.
- El digestor debe ser diseñado para funcionar como parte de las operaciones de la instalación.

### **3.3 Propuesta de Tratamiento Secundario.**

#### 3.3.1 Filtro Biológico

##### 3.3.1.1 Análisis del Sistema

###### Filtros percoladores

Los filtros percoladores se construían tradicionalmente con estructuras cilíndricas o rectangulares de hormigón o acero, conteniendo el lecho de piedra.

El lecho tendía a ser angular más que redondeado y por eso se empleaba con frecuencia la piedra caliza. Se solían diseñar estos filtros con unas dimensiones entre 1 y 2,5 m de profundidad y entre 5 y 50 m de diámetro.

El piso de estos filtros tiene un sistema de drenaje para recoger el agua residual depurada. Cerca del suelo de las paredes perimetrales hay aberturas,

para permitir la aireación. El efluente depurado pasa a un decantador secundario. En principio, ya que la capa de biomasa se encuentra fija al lecho de piedra, no existe necesidad de llevar a cabo recirculación del fango tal y como sucede en el sistema de fangos activados. En la misma piedra en donde el aire entra en contacto con la biomasa se lleva a cabo el proceso de degradación aerobia. A más profundidad también puede producirse degradación por procesos anaerobios. A medida que la carga orgánica se continúa repartiendo por todo el medio, se genera más biomasa, en exceso sobre el nivel óptimo. En este punto, parte de la biomasa se ve arrastrada con el efluente. Este proceso se conoce como “desprendimiento” y se identifica por las altas concentraciones de  $DBO_5$  en el efluente. La recirculación del efluente a través de los filtros mejora la calidad del efluente final e incluso se puede conseguir la nitrificación en unidades de baja carga.

Como ocurre en los sistemas de fangos activados, el mantenimiento en buen estado de las comunidades de microorganismos es fundamental en los filtros percoladores. Los microorganismos más significativos son las bacterias facultativas, aunque en el propio hábitat también se pueden encontrar hongos, protozoos, algas, gusanos, insectos y caracoles. La reducción de la DBO es producto de las bacterias que se encuentran en las zonas de superficie. Las bacterias nitrificantes situadas a mayores profundidades llevan a cabo la nitrificación.

Los factores que afectan a la operación y diseño del proceso han sido identificados por AWWA (1992) como:

Composición y biodegradabilidad del agua residual

r

Tipo y profundidad del medio filtrante

Carga hidráulica y orgánica

Relación de recirculación y disposición

Temperatura

Operación del repartidor

Los filtros percoladores son sistemas versátiles, capaces de tratar un residuo de baja carga orgánica y obtener un efluente de alta calidad o de actuar como pretratamiento para aguas residuales de alta carga orgánica. Sin embargo, si la relación de recirculación es alta resulta teóricamente posible obtener un efluente de alta calidad con aguas residuales de alta carga orgánica. También sucede que debido a que los tiempos de retención son cortos en comparación con los sistemas de fangos activados convencionales, los residuos de biodegradabilidad lenta pueden depurarse en filtros percoladores. Éste puede ser el caso de residuos con partículas en suspensión no floculantes. Sin embargo, el sistema es capaz de tratar compuestos orgánicos solubles eficientemente y como tal es apropiado para un gran número de aguas residuales industriales, por ejemplo, residuos de la industria láctea. El tipo de medio filtrante varía entre los rellenos de piedras de poca profundidad de

alrededor de 1 m y rellenos plásticos ligeros con profundidades hasta 6 m. El medio de piedra se usa típicamente para afluentes de baja carga orgánica como pueden ser las aguas residuales urbanas y el medio plástico para aguas residuales industriales, aunque en el pasado también se ha usado la piedra con este propósito. La carga tanto hidráulica como orgánica varía dependiendo del tipo de filtro. Los caudales de carga y otras características se muestran a continuación:

**Tabla 14 Características de los Filtros Percoladores<sup>48</sup>**

Características de Diseño	Baja Carga: Convencional	Carga Intermedia	Alta Carga	Carga Superior
Medio Filtrante	Piedra	Piedra	Piedra	Membranas Plásticas
Carga Hidráulica m <sup>3</sup> /d/m <sup>2</sup>	10000 - 40000	40000 - 100000	100000 - 400000	400000 - 900000
Carga Orgánica Kg DBO <sub>5</sub>	1 - 3	3 - 6	6 - 12	Mayor de 30
Porcentaje de Eliminación DBO	80 - 85	50 - 70	40 - 80	65 - 85
Nitrificación	Si	Algo	No	Poco

<sup>48</sup> Kiely, Gerard, Ingeniería Ambiental. Ed. McGraw Hill, México 1999

Las aguas residuales de los beneficios de café, caben dentro de la categoría de alta carga o Carga superior, por lo que la tabla anterior nos da un panorama de cómo puede ser el filtro percolador.

La operación de recirculación normalmente se llevará a cabo en todos los filtros percoladores excepto en los que operan a baja carga o como pretratamiento para otras unidades de proceso. Las relaciones de recirculación pueden variar entre 0,4 y 4, dependiendo de la calidad del tratamiento necesario. La línea de reciclado puede derivarse del efluente del filtro percolador o del decantador secundario e introducirse en la línea de afluente o directamente en el filtro. La elección del sistema dependerá de las características del agua residual, las cargas orgánicas, el estándar del efluente proceso constructivo y economía.

La temperatura, como en otros procesos de tratamiento secundario, afecta el funcionamiento. En bajas temperaturas, el rendimiento bacteriano se reduce, y a temperaturas más elevadas el rendimiento bacteriano aumenta.

Tradicionalmente los brazos de distribución del afluente, se operaban a velocidades de rotación alrededor de 1 rpm con una aspersion de 30 s. Pero actualmente se logra un proceso más eficiente a frecuencias de aspersion >30 minutos con rotación de los distribuidores más lenta. En este caso se reducen los problemas de moscas y de desprendimiento del mucílago bacteriano.

Las canaletas de distribución de agua residual reducen los costos de operación del filtro percolador, porque no necesitan de energía para funcionar, estas canaletas son vigas paralelas continuas que están sobre el filtro percolador, que conducen el agua en toda la superficie del filtro, y cuando estas rebalsan, esparcen eficientemente el agua en todo el medio filtrante.

### Biofiltros

Los principales métodos empleados para el control de gases olorosos son: torres químicas de lavado, adsorción sobre carbón activado y biofiltros.

Filtros de medio grueso. Filtros biológicos con medio filtrante compuesto por suelo, turba, compost o cualquier otro medio similar se han usado para remover entre 90 y 99% de los olores biodegradables (Bohn y Bonn, 1988). El suelo y el compost parecen ser los medios filtrantes más usados. Algunas características comunes del medio de biofiltros son: 1) suficiente capacidad y tamaño de partícula casi uniforme, 2) partículas con gran área superficial y capacidad buffer (amortiguar cambios de pH) y 3) capacidad de soportar una gran población de microflora (WEF, 1995).

Operación de biofiltros. A medida que los gases olorosos ascienden a través del medio filtrante, ocurren dos procesos en forma simultánea: absorción/adsorción y biotransformación. Los gases son adsorbidos sobre la superficie de las partículas que conforman el medio filtrante y absorbido por la capa húmeda que las rodea. Los microorganismos, en especial bacterias,

actinomicetos y hongos, crecen como una película biológica adherida al medio filtrante, oxidando los gases que han sido absorbidos y adsorbidos previamente; renovando así la capacidad de tratamiento que posee el medio (Williams y Miller, 1992).

### 3.3.1.2 Diseño Hidráulico Sanitario

En este apartado se diseña únicamente filtros percoladores, ya que no es el objetivo de este trabajo de graduación tratar malos olores. Pero en los anexos estará el diseño de un biofiltro.

#### Filtro Percolador

Un agua residual urbana posee las siguientes características:

DBO5 afluente: 360.0 mg/l

Estándar necesario efluente: 25.0 mg/l

Población equivalente: P=20000 hab. a D=225 l/h/d

Temperatura agua residual: 20° C

Determinar el volumen de un filtro percolador de piedra (baja carga) y de una etapa, si la relación de recirculación 1:1 y 2:1. Use la ecuación del modelo del National Research Council (NRC)

$$E = \frac{100}{1 + 0.448 \sqrt{\frac{W}{VF}}} \quad \text{ec. 42}$$

$$F = \frac{1+R}{\left(1+\frac{R}{10}\right)^2} \quad \text{ec. 43}$$

Para filtros de dos etapas.

$$E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0.448}{1-E_1} \sqrt{\frac{W_2}{VF}}} \quad \text{ec. 44}$$

Donde

E: Eficiencia en la eliminación de DBO

W: DBO en afluente, Kg/d

V: Volumen del filtro, m<sup>3</sup>

F: Factor de recirculación

R: Caudal de recirculación / caudal de agua residual = Q<sub>r</sub>/Q.

Solución:

Determinar la eficiencia de eliminación de DBO

$$E = \frac{DBO_5 - DBO_R}{DBO_5} 100 \quad \text{ec. 45}$$

DBOR: DBO requerida en el efluente.

$$E = \frac{360 - 25}{360} 100 = 93\%$$

Empleando la ecuación del NRC, para R=1

$$F = \frac{1+1}{\left(1 + \frac{1}{10}\right)^2} = 1.65$$

Carga de DBO en el afluente

$$W = P_{ob}(dot)DBO \quad \text{ec.46}$$

$$W = 20000 \times 225 \times 360 \times 10^{-6} = 1.62 \text{ Kg / día}$$

Ecuación del modelo NRC

$$93 = \frac{100}{1 + 0.448 \sqrt{\frac{1.62}{V \cdot 1.65}}}$$

Resolviendo para el volumen del filtro (V) tenemos:

$$V = 34.793 \text{ m}^3$$

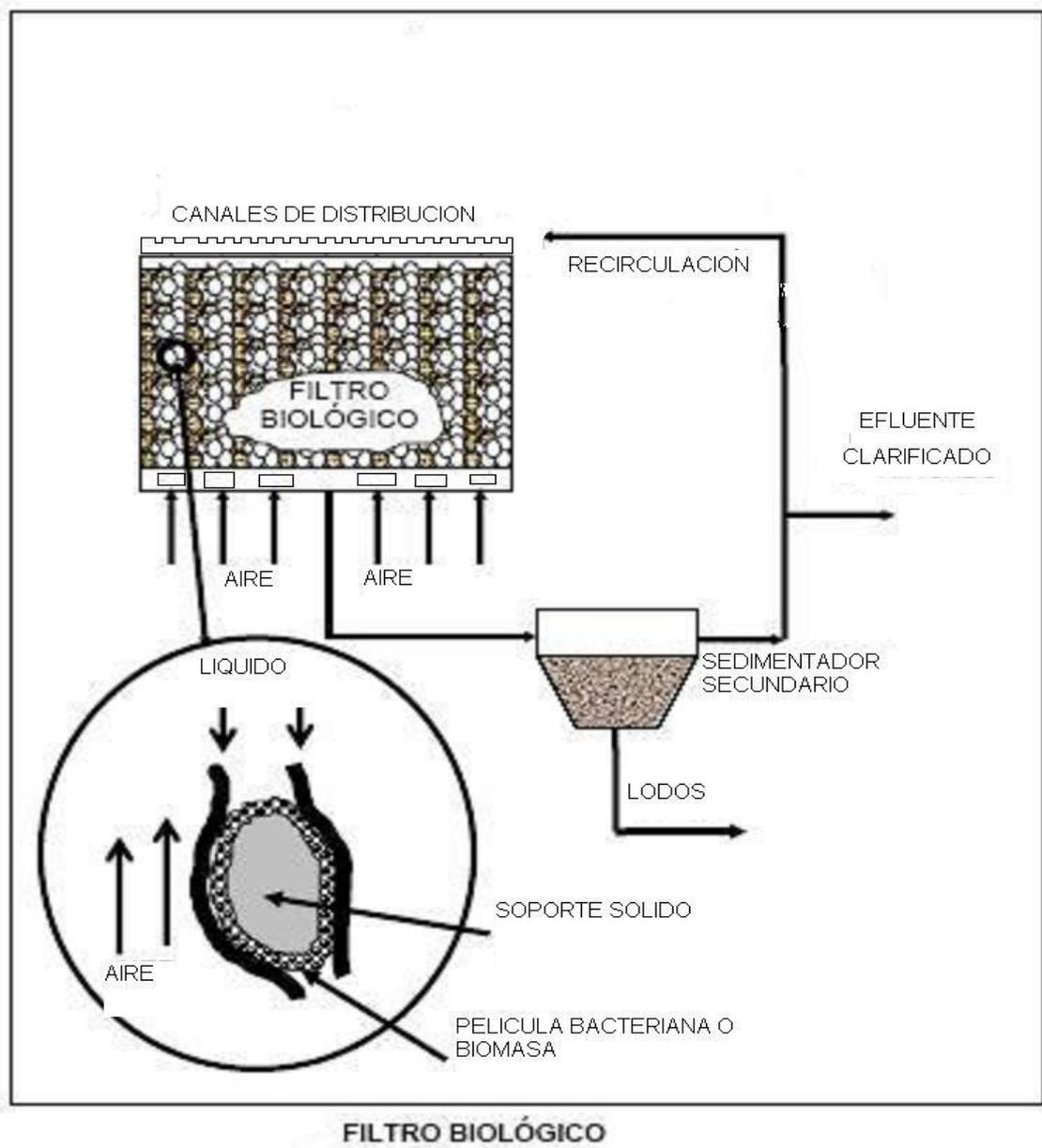
Para R=2 tenemos

$$F = 2.083$$

$$V = 27550 \text{ m}^3$$

## 3.3.1.3 Diagramas

Figura 22 Filtro Percolador



#### 3.3.1.4 Resultados

Para filtros de baja carga como el expuesto en el ejemplo de diseño, tenemos como medio filtrante más barato y común la piedra volcánica o escoria, que soporta cargas hidráulicas entre 1.2 y 3.5 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup>.día, y cargas orgánicas entre 0.08 y 0.4 Kg DBO<sub>5</sub> /m<sup>3</sup>.día.

Las dimensiones mas comunes de estos filtros oscila entre los 1.8 y 2.4 m de profundidad y la eficiencia de remoción de DBO tiene como máximo un 90%..

#### 3.3.2 Sedimentadores.

##### 3.3.2.1 Análisis del Sistema.

En nuestro trabajo de graduación estudiaremos el sedimentador circular tipo dormunt como tratamiento primario y secundario.

El tiempo de retención en los decantadores primarios es típicamente dos horas. Si este tiempo se prolongase el decantador podría tornarse séptico. Menos tiempo puede significar un tratamiento ineficiente, especialmente de los solidos en suspensión. En los sedimentadores secundarios el tiempo de retención es similar. La función del sedimentador secundario es la decantación y espesamiento de los lodos en su fondo. Es importante que las partículas sólidas no se escapen en el efluente clarificado ya que estas al ser de tipo biológico podrían provocar demanda de oxigeno en el cuerpo receptor, tal como sucede en los sedimentadores de lodos activados.

El parámetro de diseño de interés en la sedimentación secundaria es la carga superficial.

Los fangos se necesitan espesados para poder recircularlos como fangos activados de retorno (FAR) al tanque de aireación para mantener una concentración lo suficientemente alta de los sólidos de suspensión en el líquido de mezcla (SSLM). Y el parámetro de interés para el espesado de lodos es la velocidad de carga de sólidos.

### 3.3.2.2 Diseño Hidráulico Sanitario

El procedimiento de diseño según la American Waters Works Association (AWWA 1991) es el siguiente:

Seleccionar un SSLM (1000 a 4000 mg/l) basado en unos valores de relación F/M, tiempo de retención de sólidos (TRS) y calidad del efluente.

$$CS = \frac{Q}{A} \quad \text{ec. 49}$$

Donde:

CS: Carga superficial aproximadamente 30 – 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día

Q: Caudal m<sup>3</sup>/día

A: Area m<sup>2</sup>

$$CSL = CS \frac{SSLM}{1000} \left( 1 + \frac{FAR}{Q} \right) \quad \text{ec. 50}$$

Donde:

CSL: Carga de sólidos Kg/m<sup>2</sup>día

CS: Carga superficial m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día

SSLM: Sólidos suspensión en líquido de mezcla mg/L

FAR: Recirculación de lodos activados m<sup>3</sup>/día

Q: Caudal del afluente

Identificar el rango de SSLM e índice de volumen de fangos (IVF) y emplear un valor que no exceda durante el 98% del tiempo, típicamente 100 a 250 mg/l, o preferiblemente 150 mg/l.

$$IVF = \frac{SV}{SSLM} 1000 \quad \text{ec. 51}$$

Donde:

IVF: Índice de Volumen de Fangos

SV: Sólidos Volátiles en mg/l

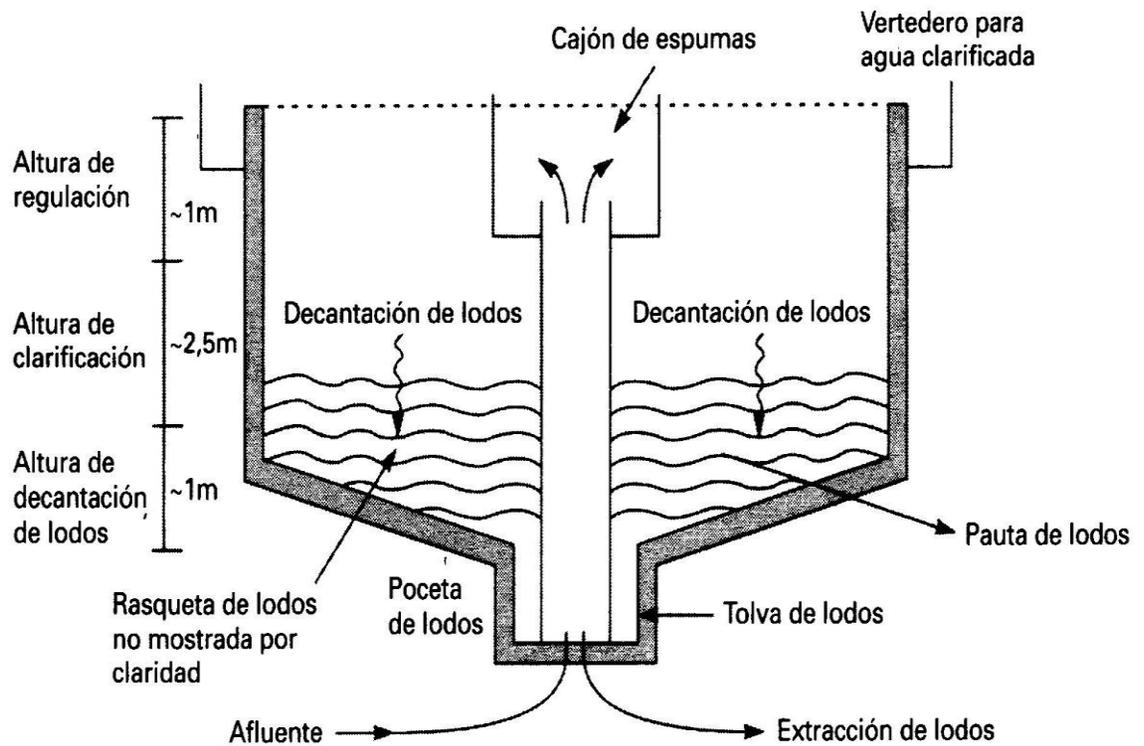
Proporcionar una capacidad de bombeo de recirculación de fangos activados (FAR) del 20% al 100% de caudal efluente mayor que el caudal de recirculación.

Con IVF y SSLM, determinar la máxima carga de sólidos (CLS) a partir de un balance de materia en el tanque de aireación y el sedimentador cuando este sea un tanque del sistema de lodos activados..

Tomando como base los caudales del efluente, seleccionar una carga superficial CS para producir el adecuado estándar de clarificación de los sólidos totales en suspensión STS

Seleccionar la geometría del tanque con una profundidad de 4 a 5 metros; incluyendo de 0.7 a 1 m para espesado de lodos, 1m de zona de seguridad y 2.4m para la decantación.

## 3.3.2.3 Diagramas

Figura 23 Sedimentador Circular Secundario<sup>49</sup>

<sup>49</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España.

### 3.3.2.3 Resultados

El sedimentador secundario es el elemento por excelencia en cualquier planta de tratamiento, porque posterior a los tratamientos primarios como lagunas, RAFA, lodos activados e inclusive el filtro percolador, es necesario clarificar el efluente para remover la biomasa y lodos biológicos remanentes de los tratamientos primarios.

El sedimentador secundario tiene primordial objetivo clarificar el agua residual y eliminar cualquier DBO remanente, a los parámetros establecidos por las normas nacionales.

Un sedimentador puede llegar a remover entre el 50% y 70% de los sólidos en suspensión, y entre el 50% y 60% de la DBO<sub>5</sub>.

### 3.3.3 Tratamiento Secundario por medio de lagunas aerobias, anaerobias y facultativas.

#### 3.3.3.1 Análisis del sistema

Las lagunas de estabilización como alternativa secundaria, son para plantas de tratamiento que cuentan con poco espacio físico para las instalaciones. Es por ello que un tratamiento primario disminuirá las concentraciones de contaminantes y hará que las lagunas de estabilización se reduzcan considerablemente, y que el efluente tratado este al final de la laguna.

### 3.3.3.2 Diseño hidráulico sanitario

El diseño de las lagunas de estabilización secundario tiene la misma analogía y procedimiento de las lagunas de estabilización primaria.

Recomendamos revisar el apartado 3.2.3 (pag. 150) anterior para ampliar el tema del diseño de las diferentes lagunas.

### 3.3.3.3 Resultados

Los resultados obtenidos para la remoción de contaminantes para lagunas de estabilización como tratamiento secundario tratan de reducir al mínimo la cantidad de estos para su disposición final.

## **3.4 Propuestas de otros elementos constituyentes de tratamiento.**

### 3.4.1 Sedimentador Primario

#### 3.4.1.1 Análisis del Sistema

En este proceso unitario el agua residual se deja decantar durante un periodo de dos horas en un tanque de sedimentación y producir así un efluente líquido clarificado en una línea y un fango líquido – sólido denominado fango primario en una segunda línea. El objetivo es producir un efluente líquido de calidad aprovechable para la siguiente etapa de tratamiento y lograr una separación de sólidos que de lugar a un fango primario que pueda ser convenientemente tratado y vertido. Entre los beneficios del tratamiento por sedimentación se incluyen:

Reducción de los sólidos en suspensión

Reducción de las DBO5

Separación del material flotante

Homogenización parcial de los caudales y carga orgánica.

En el tratamiento primario se lleva a cabo una sedimentación en reposo con recogida de la materia flotante y grasa así como la eliminación del lecho de fango sedimentado.

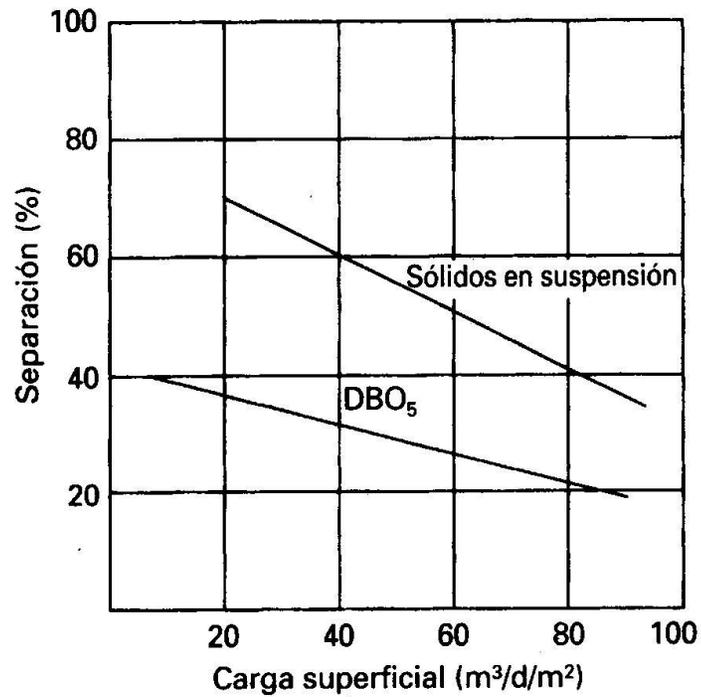
#### 3.4.1.2 Diseño hidráulico sanitario.

Diseñar un sedimentador primario para separar el 60% de los sólidos sedimentables (SS), si el caudal medio es de 5000 m<sup>3</sup>/día con un factor de punta de caudal de 2.5. Cual es la correspondiente reducción de DBO5.

#### Solución

En el Grafico 3 vemos que para lograr una reducción del 60% en SS se necesita una velocidad de sedimentación de 40 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>. Además esto permite un 32% de reducción de la DBO5.

**Gráfico 3 Velocidad de Sedimentación y Porcentaje de Eliminación**



Área superficial necesaria.

$$A_s = \frac{Q}{SOR} \quad \text{ec. 52}$$

Donde:

$A_s$  = Área superficial

$SOR$  = Velocidad de Sedimentación (Surface Overflow Rate)

$Q$  = Caudal promedio.

$$A_s = \frac{5000 \text{ m}^3 / \text{d}}{40 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{d}} = 125 \text{ m}^2$$

Empleando un sedimentador tipo dormunt, encontramos el área requerida con un  $D=13.5\text{m}$  y una profundidad lateral de  $h = 3\text{m}$ . Estas medidas son deducidas a partir de la velocidad de sedimentación de las partículas, con un análisis análogo al del desarenador visto en el apartado 3.1.3 (pag. 111).

Encontramos el volumen

$$V = A_s \cdot h$$

$$V = 143 \times 3 = 429\text{m}^3$$

El tiempo de retención lo obtenemos de la formula del caudal, que es volumen entre caudal.

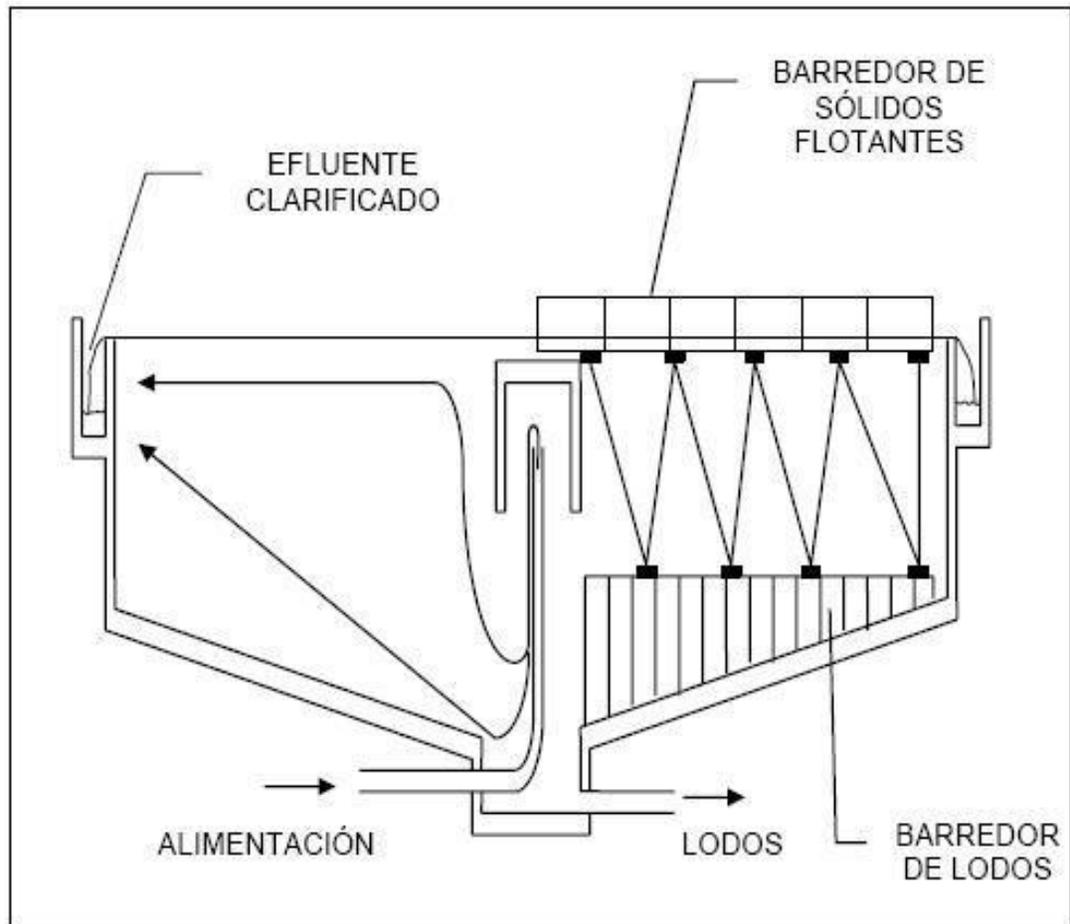
$$Tr = \frac{V}{Q} = \frac{429 \times 24}{5000} = 2.06\text{h}$$

A caudal de punta, que es cuando el tanque trabaja al límite del diseño y con menor eficiencia, despejamos SOR de la ecuación 52

$$SOR = \frac{2.5 \times 5000}{143} = 87\text{m}^3 / \text{m}^2 / \text{d} .$$

Analizamos el grafico 3 en forma contraria, localizando la carga superficial de 87, y resulta un tiempo de retención de 50 minutos y tasa de eliminación de DBO de 20% y eliminación de sólidos en suspensión SS de 38%.

## 3.4.1.3 Diagramas

**Figura 24 Sedimentador Primario Dortmund****TANQUE DE SEDIMENTACIÓN CIRCULAR, DE FLUJO RADIAL**

#### 3.4.1.4 Resultados

Los parámetros denominados criterios de rendimiento, usados para supervisar y mejorar el rendimiento diario de un sedimentador, incluyen:

Caudales del afluente y su variación (diaria)

Tasas de carga contaminante en el afluente y su variación

Los criterios anteriores pueden variar cada hora o cada día. Los caudales pueden tener picos de varias veces la media diaria, y las cargas contaminantes pueden variar de la misma manera.

Los sobrenadantes procedentes de los procesos de digestión anaerobia o las aguas de retrolavados de los filtros también pueden tener un alto valor de carga contaminante. De esta manera, el rendimiento de un sedimentador primario no depende exclusivamente de las variaciones de caudal del afluente.

Los tanques sedimentadores, pueden lograr remoción entre el 50% y 70% de los SS, y del 25% al 45% para la DBO5.

Basados en caudales pico, se consiguen velocidades de 80 a 120 m<sup>3</sup>/día/m<sup>2</sup>. Los tanques sedimentadores varían entre los 2.5m y 5m de profundidad.

### 3.4.2 Patios de Secado de Lodos.

#### 3.4.2.1 Análisis del Sistema.

El método más común para secar lodos en sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales es el secado del lodo con aire en lechos de arena. Los lechos de secado de lodo son fáciles de manejar. Producen un alto contenido de sólidos, son de bajo costo y requieren un mínimo de atención en su operación. Los tipos de lechos de secado son:

Arena

Pavimento

Medio artificial

Con ayuda de vacío

En nuestro trabajo de graduación analizaremos el sistema de secado en pavimento y en arena.

#### Lechos de secado de Pavimento.

Las recientes mejoras en el diseño de los lechos de secado con pavimento cambiaron el concepto de drenaje a decantación. Se encontró que los viejos lechos de secado de asfalto o concreto inhibían el drenaje sub superficial y, por consiguiente, requerían áreas más grandes que los lechos de arena comparables. Los nuevos diseños no tienen drenaje sub superficial y poseen un sistema de tubería para remover el decantado. Para mezclar y airear

regularmente el lodo se utiliza una barrena horizontal montada sobre un camión. Dado que el 70 a 80% del agua se pierde por evaporación, el nuevo tipo de lecho pavimentado es apropiado para climas calientes y donde los rayos solares incidan directamente en el lodo.

Las cargas dependen de la tasa de evaporación, la precipitación anual y el contenido de sólidos. Se puede obtener un contenido final de sólidos con un rango de 40 a 50% durante 30 a 40 días en climas áridos, con una capa de lodo de 12 pulg (U.S. EPA, 1987).

#### Patios de Secado de Arena.

Estos consisten en una capa de arena de tamaño conveniente colocada sobre capas inferiores de grava, bien drenadas. Los lodos digeridos, en su forma líquida, se vierten sobre la arena hasta formar una capa de licor de unos 30 cm de profundidad. La arena deja pasar la mayor parte del agua de los lodos y retiene los sólidos, que van secándose por el calor y la exposición al aire, hasta que adquieren una consistencia esponjosa y bien seca, siendo fácilmente desprendidos de la superficie del patio para la disposición final cualquiera

#### 3.4.2.2 Diseño sanitario

Determinar el área del patio de secado de lodos pavimentado, para secar 10000 lb/año de lodo. El lodo que va a deshidratarse tienen un contenido de sólidos de 7% y el contenido necesario de sólidos para su disposición es de

40%. La precipitación anual es de 1.5 pies y la evaporación del agua libre es 3.5 pie/año. Usar  $K_e = 0.6$ .

Para determinar el área de lecho de secado pavimentado se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \frac{1.04S \left( \frac{1 - S_d}{S_d} - \frac{1 - S_e}{S_e} \right) + PAF}{k_e E_p F} \quad \text{ec. 53}$$

Donde

$A$  = área del lecho, pie<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)

$S$  = producción anual de lodo, sólidos secos, lb/año (kg/año)

$s_d$  = porcentaje de sólidos secos del lodo después de la decantación

$s_e$  = porcentaje de sólidos secos del lodo para disposición final

$P$  = precipitación anual, pie/año (m/año)

$F$  = factor de conversión, 62.4 lb/pie<sup>3</sup> (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$k_e$  = factor de reducción para el lodo contra una superficie libre de agua, decimal (usar 0.6 como estimado preliminar, pruebas piloto para el diseño final)

$E$  = tasa de evaporación del agua libre, pie/año (m/año)

Sustituyendo valores y despejando  $A$ .

$$A = \frac{1.04(10000) \left( \frac{1-0.07}{0.07} - \frac{1-0.4}{0.4} \right) + (62.4)(1.5)A}{(62.4)(0.6)(3.5)}$$

$$A = \frac{122512 + 93.6A}{131}$$

$$131A - 93.6A = 122512$$

$$A = 3275 \text{ pie}^2$$

Determinar la carga de sólidos dividiendo la producción de sólidos entre el área del lecho de secado.

$$CargaSólidos = \frac{10000lb / año}{3275 \text{ pie}^2} = 3.05lb / \text{pie}^2 \text{ año}$$

Norma de Diseño de Patios de Secado de Lodos con Lecho de Arena

**Tabla 15 Areas de Diseño de Patios de Secado de Lodos "Per Cápita"<sup>50</sup>**

Método de Tratamiento	Area del Patio de Secado de Lodos "per cápita"			
	Patios Destapados		Patios Tapados	
	<i>ft</i> <sup>2</sup>	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>ft</i> <sup>2</sup>	<i>m</i> <sup>2</sup>
Primario	1.000	0.093	0.750	0.070
Filtros Percoladores	1.500	0.139	1.250	0.116
Lodos activados	1.750	0.163	1.350	0.125

a) Material filtrante

Las capas inferiores del material filtrante deben ser construidas con grava gruesa y bien graduada, extendiéndose hasta 12 pulgadas sobre los drenajes, y cubierta con otra capa de grava fina con una profundidad de 3 pulgadas. Por encima de todo ha de estar una capa de arena gruesa de profundidad de 6 a 9 pulgadas.

b) Drenajes

Los drenajes deben ser construidos con tubería de PVC de diámetro 4 pulgadas o más, de juntas abiertas y colocados no mas de 20 pies de eje a eje,

<sup>50</sup> Barnes, George E., Tratamiento de Desechos industriales, Ed. RABASA S.A. Mexico 1967

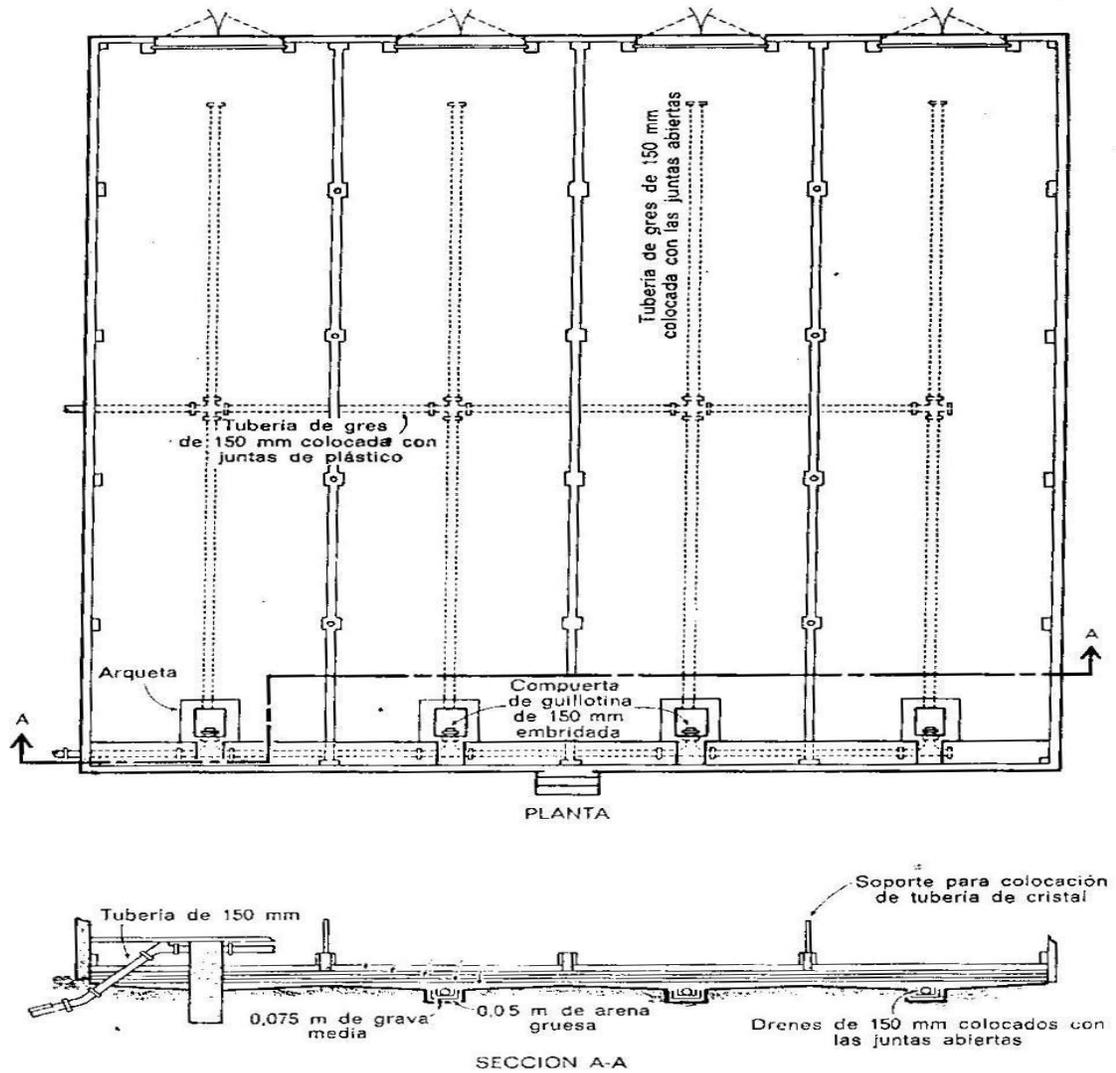
la tubería debe estar perforada o ranurada para que capte las aguas del lodo residual (conocido como drenaje francés).

c) Disposición del líquido colectado

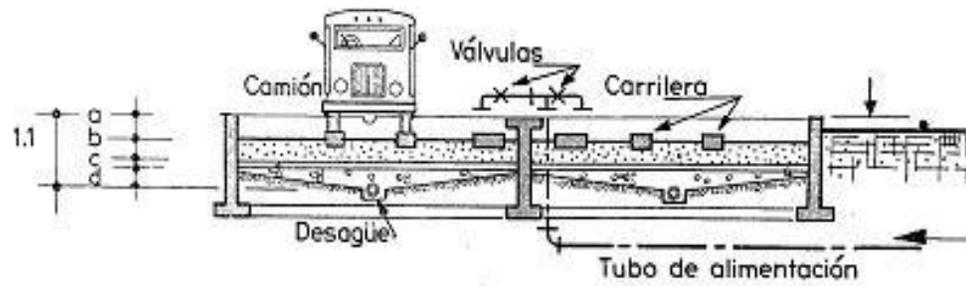
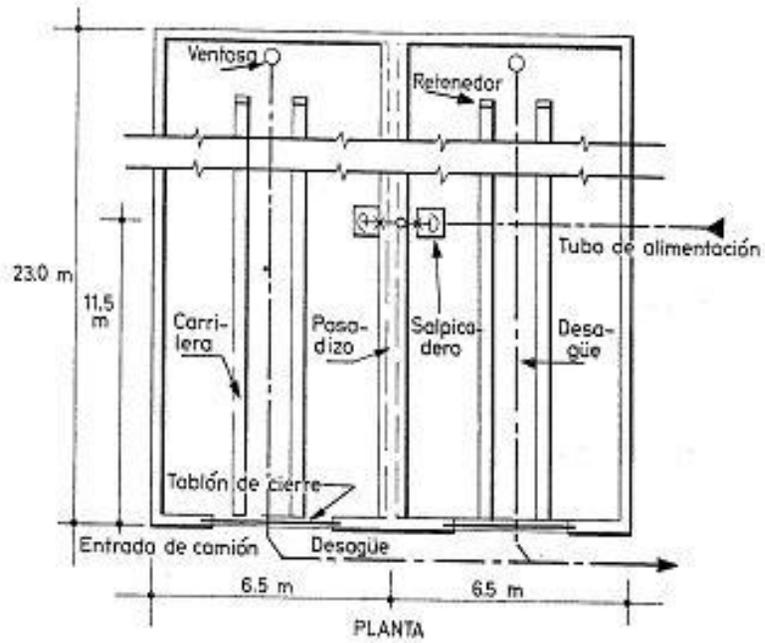
El avenamiento de los drenajes debe retornarse al afluente del tratamiento, y no disponerse al cuerpo receptor.

3.4.2.3 Diagramas

Figura 25 Patios de Pavimento para Secado de Lodos



Planta y sección de una era típica de secado de fangos



- a = borde libre 15"
- b = arena 9"
- c = grava fina 3"
- d = grava gruesa 3"-12"

#### 3.4.2.4 Resultados

El área del diseño total debe dividirse en mínimo tres lechos. Para los sistemas pequeños puede ser ventajoso planear la orientación de los lechos de manera que éstos reciban la máxima radiación solar (U.S. EPA, 1987).

El pavimento de los patios de secado puede ser de concreto, asfalto, mampostería, suelo cemento etc. Y es el beneficiador de café el responsable de decidir cual tipo de superficie le resulta mejor para su economía.

Los patios de secado de lecho de arena tienen mejor eficiencia para secar el lodo que el de lecho de pavimento ya que este último depende únicamente de la temperatura, el viento y el sol para secar mientras que el lecho de arena posee un factor más, que es el drenaje. Además en época lluviosa el patio de secado de arena soporta lluvia sin inundarse, mientras que el de lecho de pavimento, puede incurrir a eso si no se toman las medidas necesarias.

#### 3.4.3 Digestores de lodos.

##### 3.4.3.1 Análisis del sistema.

El lodo proveniente de la sedimentación y de los procesos de tratamiento biológico debe estabilizarse o tratarse antes de disponer de él o de reutilizarlo. La necesidad de la estabilización o del tratamiento depende del tipo de disposición o de reutilización y de las molestias potenciales debidas a los olores en el lugar. El lodo se procesa para: 1) eliminar los olores desagradables. 2)

reducir o inhibir la putrefacción potencial 3) reducir su contenido de organismos patógenos. Las formas de tratamiento incluyen: 1) la reducción biológica de los sólidos volátiles y biodegradables. 2) la oxidación química de los sólidos volátiles. 3) la adición de sustancias químicas para volver el lodo no biodegradable y 4) calentamiento para desinfectar o esterilizar el lodo. Los métodos más comunes de tratamiento de lodos para instalaciones pequeñas de aguas residuales son la digestión aerobia y las lagunas de lodos. La digestión anaerobia, la oxidación química y la estabilización con cal son los métodos menos utilizados.

Por lo general, los digestores anaeróbicos se asocian con los sistemas pequeños y medianos de aguas residuales. Es por ello que en este trabajo de graduación analizaremos los digestores de lodos anaeróbicos.

#### Digestión anaeróbica.

Es la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo el dióxido de carbono.

Frecuentemente este proceso se emplea como primera etapa de tratamiento en residuos de alta carga orgánica. El objetivo del uso de la digestión anaerobia es el de reducir las altas cargas orgánicas a valores de DBO aceptables. Por tanto esta digestión es un complemento a los procesos aerobios convencionales que generan lodos.

## 3.4.3.2 Diseño Sanitario.

**Tabla 16 Criterios de Diseño para Digestores Anaerobios<sup>51</sup>**

<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIDA DE RESPUESTA DEL DIGESTOR</b>
TIPO DE LODO DE APORTE	
PRIMARIO %	50
FILTRO PERCOLADOR %	15
LODO ACTIVADO EN EXCESO %	35
SOLIDOS TOTALES %	4.7
SOLIDOS VOLATILES %	62
DIAMETRO DEL TANQUE m	15 - 40
ALTURA DEL TANQUE m	5 - 20
CARGA DEL LODO (Kg SSV/m3/día)	APROX. 5.5
TEMPERTATURA DE OPERACIÓN °C	38

$$V_S = \left[ V_I - \frac{2}{3}(V_J - V_F) \right] t \quad \text{ec. 54}$$

Donde:

VS: Volumen del Digestor m3

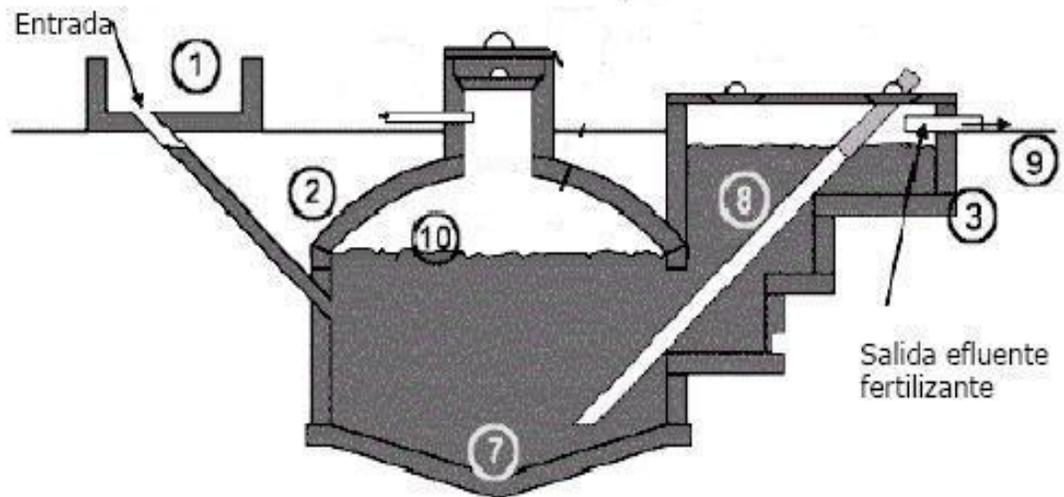
VI: Volumen Inicial del Lodo m3

VF: Volumen final del Lodo m<sup>3</sup>

t: Tiempo de Retención días

<sup>51</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España.

## 3.4.3.3 Diagramas



Digestor de cubierta fija, diseño Nicarao

Las partes del reactor son las que se detallan a continuación

1	Tanque de mezcla, con el conducto de entrada y retención de arenas.
2	Digestor
3	Tanque de compensación y de salida
7	Acumulación de lodo denso
8	Cañería de salida
9	Nivel de referencia
10	Espuma sobrenadante

Partes del digestor diseño Nicarao

#### 3.4.3.4 Resultados

De la digestión de anaeróbica de lodos se deduce que el volumen del tanque aumenta a medida que disminuye la velocidad de reacción de las bacterias, es decir a medida que disminuye la temperatura el volumen del tanque aumenta y el porcentaje de digestión disminuye<sup>52</sup>.

Las ventajas de los digestores anaerobios son las siguientes:

Producto final humus estabilizado

Bajo costo de inversión y operación

Sobrenadante más purificado que en digestión aerobia.

Producción de gas como fuente energética

Mejoría del valor fertilizante del humus final

Eliminación de patógenos y semillas de hierbas

Las desventajas son las siguientes:

Rendimiento reducido en climas fríos

Requiere de agitación continua.

Produce malos olores

---

<sup>52</sup> Ingeniería Ambiental, Gerard Kiely, Ed. Mc Graw Hill, 1999 Madrid España.

## **4.0 PROPUESTAS DE REUTILIZACION DEL AGUA TRATADA Y PROPUESTAS PARA EL USO DE LA PULPA DE CAFÉ.**

### **4.1 Reciclaje del Agua Miel Residual.**

El reciclaje de las aguas mieles tratadas es muy utilizada en nuestro país, ya que reduce los costos de consumo de agua, pero el problema principal es que no recibe un tratamiento antes del reciclaje, o sea que el agua de despulpe una vez usada, se vuelve a usar una y otra vez, hasta alcanzar niveles de contaminación muy serios, en el cual los procesos de tratamientos posteriores resultan demasiado caros.

Es por ello, que el buen tratamiento de las aguas mieles, para lograr un efluente de calidad, hará que el reciclaje de las aguas sea económico y que las concentraciones de contaminantes no se eleven demasiado.

Es recomendable que el reciclaje se haga posterior al tratamiento completo fuese cual fuera el sistema, esto para disminuir la concentración excesiva de las aguas de lavado y que el proceso de tratamiento se vea alterado por la sobrecarga de contaminantes.

Es de analizar y tener muy en cuenta, que la velocidad y volumen de producción de los beneficios de café, es muy variable, y que cuando las cantidades de agua de lavado, sean muy grandes y que se utilicen rápidamente, el reciclaje puede derivarse posterior a un elemento del tratamiento del sistema, ya sea el primario o secundario. Es por ello que un

sistema de tuberías de bombeo posteriores a cada unidad o al final del tratamiento para reciclar el agua cuando se necesite sería buena práctica.

#### **4.2 Uso del Agua Miel en la Agricultura.**

El uso de aguas residuales en agricultura constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso.

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego y la piscicultura; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados.

Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos, estos nutrientes se conservan en el protoplasma de las algas al tratar las aguas residuales en lagunas de estabilización.

Los tóxicos y microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden causar efectos nocivos a la salud y/o a los cultivos, si no se utilizan el tratamiento y el manejo adecuados.

Algunas sustancias presentes en las aguas residuales pueden resultar perjudiciales a los suelos, a corto, mediano o largo plazo, si no se toman las medidas correctivas apropiadas.

La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, o estanques de piscicultura constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas.

Usos agrícolas de las aguas residuales.

Principales cultivos:

- Forrajes, hierbas, alfalfa, etc.
- Maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, remolacha
- Menta, algodón, tabaco.

Sólo con buen manejo y alto grado de tratamiento:

- Frutas
- Vegetales

Rendimiento mayor debido a los Nutrientes de las Aguas Residuales  
(México)

Cultivo	Rendimiento en ton/ha	
	Aguas Negras	Aguas blancas
Alfalfa	120.0	70.0
Maíz	5.0	2.0
Frijol	1.0	1.3
Trigo	3.0	1.8
Cebada	4.0	2.0
Avena forraje	22.0	12.0
Tomate	35.0	18.0
Ají	12.0	7.0

Comparación de los rendimientos obtenidos en Tacna, Perú en riego con efluentes de lagunas de estabilización secundarias y el rendimiento con aguas blancas

Cultivo	Rendimiento en ton/ha	
	Aguas Negras	Aguas blancas
Papa	45.0	12.0
Camote	20.0	10.5
Maíz	3.0	2.0
Alfalfa	12.5	10.0
Zapallo	20.0	12.5

La aplicación de aguas residuales a terrenos agrícolas puede originar riesgos a la salud humana debido a la presencia de metales, productos químicos orgánicos y otros compuestos tóxicos. Estas sustancias pueden entrar a la cadena alimenticia a través de alimentos para el hombre, o a través

de alimentos para animales. Pero las aguas mieles residuales de los beneficios de café no contienen las sustancias tóxicas antes mencionadas, es por ello que pueden utilizarse sin ningún peligro de intoxicación.

Los principales productos químicos de consideración en las aguas residuales domésticas son los metales pesados. El tratamiento convencional acumula los metales en los lodos reduciendo considerablemente su concentración en el efluente.

El siguiente análisis corresponde a la planta de Ukima, Tokio, Japón.

Concentración en mg/l

Parámetros	Aguas Negras Crudas	Lodos (2.5% sólidos)
Fe	4.4	465.0
Cu	1.75	75.0
Zn	4.6	88.0
Cd	0.1	4.2
Hg	0.57	1.62
Pb	19.2	97.0

El Cadmio es rápidamente absorbido por las plantas y no es fitotóxico. El Cadmio es muy tóxico al hombre y se acumula en el hígado y en los riñones. La OMS ha recomendado que no se ingiera por personas más de 400 - 500 mg. de Cadmio por semana.

Los análisis anteriores se hacen con agua negra cruda, haciendo ver que son utilizadas sin tratamiento previo. En este trabajo de graduación planteamos que el agua tratada que sale del beneficio de café puede ser utilizada en la

agricultura sin ningún riesgo para la salud de las personas que consumen los productos agrícolas, luego se hacen pruebas de los equipos y elementos ya diseñados, para tomar muestra de los efluentes tratados.

Muchos países han desarrollado normas para la aplicación de aguas residuales y lodos procedentes del tratamiento de las mismas a suelos agrícolas con base en el contenido de Cadmio, o en las cargas de Cadmio aplicadas a los suelos a los cuales se aplican.

Existe poca información sobre la toma por las plantas de compuestos químicos orgánicos sintéticos que estén presentes en las aguas de riego. Los pesticidas y los bifenilos policlorados (PCB) sintéticos están relativamente inmóviles en el suelo y no son absorbidos por las plantas. Sin embargo, pueden ser absorbidos por los animales que están en los pastizales y luego ser encontrados en la leche.

El reuso de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado en la agricultura, implica riesgos de salud para los trabajadores agrícolas y sus familias, lo mismo que para la población en general que consume los productos agrícolas, así obtenidos si se presentan altas tasas de enteritis y otras enfermedades diarreicas, lo mismo que tifoidea y cólera entre parte de la población que genera las aguas residuales. Los gérmenes causantes de estas enfermedades son por consiguiente diseminadas al ambiente a través de las aguas servidas. El bajo grado de saneamiento ambiental, y el uso de aguas

residuales crudas en riego sin control es causa de la alta incidencia de enfermedades entéricas causadas por bacterias (salmonellas, shigellas, *Vibrio cholerae*), parásitos y virus.

Precauciones recomendadas en la operación de sistemas de riego con aguas mieles residuales.

- 1 Análisis de la calidad del agua servida en relación con los cultivos previstos y el tipo o los tipos de suelo. Investigar existencia de normas.
- 2 Si el agua presenta sustancias tóxicas, detergentes no biodegradables, etc. Tratar de controlarlos en su fuente de origen.
- 3 Se debe dar preferencia a los suelos con alto contenido de materia orgánica y alcalina para minimizar la toma de metales pesados por las plantas, si estos son detectados.
- 4 Se debe dar preferencia a cultivos que no se coman crudos, que tengan alto valor nutritivo y sean de un consumo de agua moderado.
- 5 Se debe utilizar el grado de tratamiento que sea requerido según el uso restringido o irrestricto del agua y tomando en cuenta el método de riego que se utilice (subsuelo, atomización, etc.)
- 6 Para proteger la salud de los consumidores, debe practicarse la cosecha entre 2 y 4 semanas después del último riego con aguas residuales.
- 7 Tratar de eliminar las posibles molestias causadas por moscas,

mosquitos, olores, etc.

- 8 Salud ocupacional: Proteger la salud de los campesinos. Si el clima y las circunstancias lo permiten, considerar el uso de guantes, botas, etc. Debe existir control médico (Chequeo cada 3 meses) del personal y de sus familiares que vivan en el área de riego.
- 9 El sistema de riego deberá contar con dispositivos que permitan un buen manejo y dosificación del agua.
- 10 Deberá contarse con capacidad de almacenamiento del agua servida, efluentes tratados, o tierra agrícola adicional o dispositivos para orientar en forma sanitaria las aguas servidas durante los períodos en que no se necesite o sea necesario suprimir el riego.
- 11 Debe evitarse la erosión del suelo, la descarga de agua en exceso (excediendo la permeabilidad del terreno) y el deterioro del agua subterránea con patógenos, nitratos, etc.
- 12 Deberá contarse con dispositivos para medición del flujo y control del efluente. Usar canaletas parshall, vertederos, etc.
- 13 Especial atención se dará a la etapa de cosecha, procurando usar agua de muy buena calidad para el lavado de los productos antes de su envío al mercado.
- 14 Igual cuidado se tendrá en la conservación higiénica de los productos durante toda la etapa de almacenamiento, transporte y mercadeo.

15 Deberá hacerse un monitoreo sobre calidad toxicológica y microbiológica de los productos procedentes de estas áreas de riego. Como patrón de comparación deberá hacerse el mismo tipo de control con productos procedentes de áreas de riego donde no se utilicen aguas residuales o altamente contaminadas.

### **4.3 Usos Diversos.**

Es de hacer saber a los beneficiadores de café, que estos usos diversos son exclusivos para el posterior tratamiento del agua miel. Y que deben de pasar por todos las diferentes unidades.

#### **4.3.1 Paisajístico**

En los beneficios de café, se pueden construir estanques rodeados de pasto y flores para crianza de patos o para piscicultura. Pero para este destino se tiene que consultar con expertos en piscicultura para conocer las necesidades de los peces, y saber la cantidad de oxígeno disuelto que estos necesitan y los contaminantes que estos pueden soportar. Lo mismo las aves acuáticas, es de conocer la calidad del agua que necesitan para sobrevivir.

Otro destino que también es usado es el cultivo de plantas acuáticas y agua para implementar un vivero dentro del beneficio de café.

#### **4.3.2 Servicios sanitarios**

Si existe una comunidad cercana al beneficio de café, se puede ejecutar un proyecto de un tanque exclusivo para usar en los servicios sanitarios de la

comunidad o dentro del mismo beneficio de café, que sirva para lavar las pilas de lavado y unidades de tratamiento posterior a la época de beneficiado.

#### 4.3.3 En la construcción

El beneficio de café tiene que tener conocimiento de proyectos de construcción cercanos, para poder proporcionar a la comunidad del vital líquido para propósitos constructivos, el dueño verá la mejor manera de administrar el agua tratada para usarla o verterla a un cuerpo receptor siempre que cumpla con la normativa vigente.

Es necesario consultar con el ingeniero residente de los proyectos, la calidad del agua para el uso específico dentro de la construcción, ya sea compactación de suelos, mitigación de polvo, lavado de materiales y producción y curado de concreto.

#### Agua de Mezclado Para el Concreto

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada.

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2,000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga mas de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

#### Impurezas y Tolerancias en el Agua para Mezcla de Concreto

##### a) Carbonatos y Bicarbonatos Alcalinos

El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que lo bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali – agregado graves.

## b) Cloruros

La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los tirones del preesfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto.

Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes separados – aditivos, agregados, cemento, y agua – o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas.

El agua que se utilice en concreto preforzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ion cloruro. Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución.

El Reglamento de Construcción del American Concrete Institute, ACI 318, evita el contenido de ion cloruro soluble al agua en el concreto,

## c) Agua de Mar

Aun cuando un concreto hecho con agua de mar puede tener una resistencia temprana mayor que un concreto normal, sus resistencias a edades mayores (después de 28 días) pueden ser inferiores. Esta reducción de resistencia puede ser compensada reduciendo la relación agua – cemento.

El agua de mar no es adecuada para producir concreto reforzado con acero y no deberá usarse en concreto prefabricados debido al riesgo de corrosión del esfuerzo, particularmente en ambientes cálidos y húmedos.

El agua de mar que se utiliza para producir concreto, también tiende a causar eflorescencia y humedad en superficies de concreto expuestas al aire y al agua.

#### d) Aguas Ácidas

En general, el agua de mezclado que contiene ácidos clorhídrico, sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones inferiores a 10,000 ppm no tiene un efecto adverso en la resistencia. Las aguas ácidas con valores pH menores que 3.0 pueden ocasionar problemas de manejo y se deben evitar en la medida de lo posible.

#### e) Aguas Alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio de 0.5% el peso del cemento, no afecta en gran medida a la resistencia del concreto toda vez

que no ocasionen un fraguado rápido. Sin embargo, mayores concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto.

El hidróxido de potasio en concentraciones menores a 1.2% por peso de cemento tiene poco efecto en la resistencia del concreto desarrollada por ciertos cementos, pero la misma concentración al ser usada con otros cementos puede reducir sustancialmente la resistencia a los 28 días.

f) Aguas de Enjuague.

La Agencia de Protección Ambiental y las agencias estatales de los EEUU prohíben descargar en las vías fluviales, aguas de enjuague no tratadas que han sido utilizadas para aprovechar la arena y la grava de concretos regresados o para lavar las mezcladoras.

g) Aguas de Desperdicios Industriales.

La mayor parte de las aguas que llevan desperdicios industriales tienen menos de 4,000 ppm de sólidos totales. Cuando se hace uso de esta agua como aguas de mezclado para el concreto, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor que del 10% al 15%.

h) Aguas Negras.

Las aguas negras típicas pueden tener aproximadamente 400 ppm de materia orgánica. Luego que estas aguas se han diluido en un buen sistema de tratamiento, la concentración se ve reducida aproximadamente 20 ppm o

menos. Esta cantidad es demasiado pequeña para tener efecto de importancia en la resistencia.

#### i) Sulfatos

El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos. Aunque sea empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfatos de sodio.

#### j) Sales Comunes

Los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en el agua y rara vez se les encuentra en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. En algunas aguas municipales se pueden encontrar bicarbonatos de calcio y de magnesio. No se consideran dañinas las concentraciones inferiores o iguales a 400 ppm de bicarbonato en estas formas.

Se han obtenido buenas resistencias con concentraciones hasta de 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones de sulfato de magnesio deberán ser inferiores a 25,000 ppm.

#### k) Sales de Hierro.

Las aguas freáticas naturales rara vez contienen mas de 20 a30 ppm de hierro; sin embargo, las aguas de mina ácidas pueden contener cantidades muy

grandes. Las sales de hierro en concentraciones hasta 40,000 ppm normalmente no afectan de manera adversa al desarrollo de la resistencia.

l) Diversas Sales Inorgánicas.

Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De estas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo. Las sales que son especialmente activas como retardantes, incluyen el yodato de sodio, fosfato de sodio, arsenato de sodio y borato de sodio.

Generalmente se pueden tolerar en el agua de mezclado concentraciones de estas sales hasta de 500 ppm.

Otra sal que puede ser dañina al concreto es el sulfuro de sodio; aun la presencia de 100 ppm requiere de ensayos.

m) Impurezas Orgánicas.

El efecto que las sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales puedan tener en el tiempo de fraguado del cemento Portland o en la resistencia última del concreto, es un problema que presenta una complejidad considerable.

Las aguas que estén muy coloreadas, las aguas con un olor notable o aquellas aguas en que sean visibles algas verdes o cafés deberán ser vistas con desconfianza y en consecuencia ensayadas.

n) Azúcar

Una pequeña cantidad de sacarosa, de 0.03% a 0.15% del peso del cemento, normalmente retarda el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía respecto de los distintos cementos. La resistencia a 7 días puede verse reducida, en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar. El azúcar en cantidades de 0.25% o más del peso del cemento puede provocar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado y a la resistencia de manera distinta. Menos de 500 ppm de azúcar en el agua de mezclado, generalmente no producen un efecto adverso en el desarrollo de la resistencia, pero si la concentración sobrepasa esta cantidad, se deberán realizar ensayos para analizar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia.

m) Sedimentos o Partículas en Suspensión.

Se puede tolerar en el agua aproximadamente 2,000 ppm de arcilla en suspensión o de partículas finas de roca. Cantidades mayores podría no afectar la resistencia, pero bien podrían influir sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto. Antes ser empleada, cualquier agua lodosa debiera pasar

a través de estanques de sedimentación o deberá ser clarificada por cualquier otro medio para reducir la cantidad de sedimentos y de arcilla agregada a la mezcla. Cuando se regresan finos de cemento al concreto en aguas de enjuague recicladas, se pueden tolerar 50,000 ppm.

#### **4.4 Propuestas de Uso de la Pulpa de Café.**

##### 4.4.1 Compostaje

El compostaje es el proceso de estabilización biológica por medio del cual se descompone el lodo y se genera un producto similar al humus que puede usarse de forma benéfica como un correctivo para el suelo. El compostaje aeróbico reduce el potencial de molestias por olores. El compostaje requiere una mezcla de aditivos con lodo con un contenido inicial de sólidos del 40%.

##### El proceso del compostaje

El proceso de elaboración de compost se describe a continuación, independientemente del tipo de recipiente y de la técnica de aireación que se utilice:

1. El lodo deshidratado que sale de los patios de secado se mezcla con una enmienda o un agente ligante con el fin de aumentar su contenido de sólidos, proveer carbono suplementario e incrementar la porosidad. Las enmiendas tales como aserrín, compost finalizado, hojas, cascarilla de arroz, cascarilla de maní y pulpa de café forman parte del producto terminado y se

seleccionan sobre la base del costo y la disponibilidad debido a su contenido de carbono degradable. Agentes ligantes tales como astillas de madera, corteza y trozos de llantas, se escogen para aumentar el contenido de sólidos y brindar porosidad. Dichos agentes ligantes deben extraerse del compost final.

2. El lodo mezclado y los agentes de enmienda y ligantes se calientan por medio de la acción bacteriana hasta el grado al cual los organismos patógenos se destruyen.

3. La mezcla se airea por 15 a 30 días con sopladores, mezcla periódica o una combinación de ambos. La aireación suministra oxígeno para los microorganismos aerobios, controla la temperatura y remueve el vapor de agua.

4. Los agentes ligantes se tamizan y retiran del compost.

5. El compost se cura durante 30 a 60 días para completar el proceso de estabilización.

Aunque el compostaje es un proceso antiguo y relativamente simple, la necesidad simultánea de aumentar, la temperatura, aireación y secado, lo hace un procedimiento de cierta manera complejo.

Los tres sistemas principales de compostaje son el sistema de volteo, el de pilas estáticas aireadas y el cerrado. Para los sistemas pequeños, los métodos de volteo y de pilas estáticas aireadas son por lo general los más apropiados y de precios más asequibles. En un estudio realizado en 1995 sobre 228 sistemas operativos, 31% de las instalaciones de compostaje eran de

volteo, 48% de pilas estáticas aireadas y 21 % de carácter cerrado (Goldstein y Steuteville, 1995).

#### Uso de la pulpa de café en producción de abono

- Aplicación de pulpa compostada en la agricultura para la producción de café
- Aplicaciones de 16 ton/ha de pulpa descompuesta, no tienen efecto detrimental sobre el desarrollo de la planta de café (López 1966)
- Comparada con otros residuos orgánicos (Polvo de huesos, Bovinazas) y fertilizantes químicos, las producciones de café con pulpa descompuesta son superiores (Suárez de Castro 1960)
- Se logran considerables aumentos en producción de café con aplicaciones superficiales de 6.0 kg/planta/año de pulpa seca
- La pulpa de café reemplaza ampliamente a la fertilización química (Uribe y Salazar 1983)

#### 4.4.2 Pulpa de café para alimento animal

La pulpa posee contenidos de proteína del 12%, estudios de la universidad de Costa Rica indican que la pulpa de café puede ser empleado en las fórmulas alimenticias para ganado vacuno hasta en un 20% y para aves, hasta en un 3%.

Otro uso de la pulpa como alimento animal, es el cultivo de lombrices, El área de lombricultura tiene como función primordial dar las herramientas básicas para realizar prácticas e investigaciones estudiantiles y a la vez obtener lombrihumus y pie de crías de dos especies de lombrices que son ofertadas en el ámbito nacional y cuentan con la acogida de proyectos dirigidos a pequeños productores, cuyo interés se basa en la producción de lombrices como alimento suplementario en aves y obtención de lombrihumus para abono en sus parcelas.

#### 4.4.3 Pulpa como combustible

Estudios del Centro de Investigación Costarricense del café (CICAPE), establecen que la pulpa deshidratada se comporta como un muy buen combustible capaz de proveer hasta 4200 kilocalorías por kilogramo de peso.

Se ha planteado como necesario el prensado de la pulpa por medios mecánicos para retirar parte del 85% de su humedad , de tal forma que se facilite el secado final de la misma y permitir así su posterior uso como combustible. Ese prensado previo significa entre otras cosas que se van a generar cantidades muy grandes de licor de prensado, licor que posee un poder de contaminación muy elevado que en términos de DQO el cual puede ir desde 60,000 hasta 120,000 mg/l. concentraciones 12024 veces mayores que las de las aguas residuales de beneficiado.

El despulpado en seco genera una pulpa más rica y menos húmeda que viene a favorecer el secado de la misma y su posible uso como combustible, haciendo menos necesario el prensado de esta. Investigaciones realizadas en CICAFFE establecen que la pulpa producto del despulpado en seco libera mucho menos licor que aquella transportada con agua. La posibilidad de secar pulpa y de quemarla conforme transcurre el beneficiado, sin tener que almacenarla, se presenta cada vez más como una importante opción, situación que haría al café menos dependiente de combustibles para su secado.

#### 4.5 Aprovechamiento del pergamino.

##### 4.5.1 Pergamino como combustible

El pergamino del café o endocarpio del fruto es usado en su totalidad como combustible.

El pergamino es almacenado en silos y desde ahí es alimentado a los hornos de combustión con el empleo del aire o bien con el empleo de transportadores helicoidales o vibradores. Este material representa un excelente complemento para el uso de la leña; el mismo aporta 4200 kilocalorías por kilogramo de peso.

##### 4.5.2 Pergamino para celulosa

###### La Celulosa

La celulosa, en términos generales se puede definir como un polisacárido constituido por moléculas de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos. Es el

compuesto orgánico más difundido en la naturaleza; componente principal de las paredes celulares vegetales (por ejemplo pergamino de café, maderas, en las fibras de algodón) en las cuales se encuentra junto con hemicelulosa, pectina, extensina (que actúan como aglutinante entre las fibras celulósicas) y lignina.

El pergamino del café, es celulosa pura, y puede representar ingresos económicos a los beneficios de café. es recomendable consultar a profesionales entendidos en la materia de aprovechamiento de este rubro poco explotado en nuestro país, del cual se puede obtener papel y otros productos derivados de la celulosa.

## 5.0 COMPARACION Y ANALISIS ENTRE LAS DESCARGAS DE LOS TRATAMIENTOS Y LAS NORMAS

### 5.1 Análisis y Comparación de la Descarga del Tratamiento Primario.

Análisis de las descargas de cada elemento de la propuesta de tratamiento primario:

Para ello, hay que analizar la concentración de contaminantes del efluente del proceso de despulpe y de aguas mieles provenientes del lavado en el beneficio húmedo de café que presentamos en el capítulo 1 de este trabajo de graduación.

Analizaremos este efluente de los procesos, como una sola descarga, o sea que el efluente de aguas residuales se mezclará antes de entrar a la planta de tratamiento; por lo que se hará una suma aritmética de la carga contaminante entre ambas descargas.

**Tabla 17 Contaminantes Típicos en las Aguas Crudas de Despulpe**

PH	4.2
Temperatura	27 °C
DBO	20000 mg/lt
DQO	16000 mg/lt
Sólidos Totales (ST)	13881 mg/lt
Sólidos disueltos (SD)	10924 mg/lt
Sólidos Suspendidos(SS)	2960 mg/lt
Sólidos Sedimentables(SSED)	280 mg/lt
Sólidos Totales Volátiles(STV)	9900 mg/lt

**Tabla 18 Contaminantes Típicos de las Aguas Mieles Crudas Provenientes del Lavado**

PH	4.5
Temperatura	27.5 °C
DBO	5000 mg/lit
DQO	13000 mg/lit
Sólidos Totales (ST)	6960 mg/lit
Sólidos Disueltos (SD)	3450 mg/lit
Sólidos Suspendidos (SS)	3503 mg/lit
Sólidos Sedimentables (SSED)	-
Sólidos Totales Volátiles (STV)	5220 mg/lit

Nitrógeno 20 Mg/lit y Fósforo 25 mg/lit.

En base a los datos de la tabla 17 y tabla 18, y haciendo la suma de los contaminantes, resulta una concentración teórica de la siguiente manera, para el agua residual a la entrada de la planta de tratamiento primario:

**Tabla 19 Contaminantes Teóricos a la Entrada del Tratamiento Primario**

Nitrógeno N	20 mg/lit
Fósforo P	25 mg/lit
DBO	25000 mg/lit
DQO	29000 mg/lit
Sólidos Totales (ST)	20841 mg/lit
Sólidos Disueltos Totales (SD)	14374 mg/lit
Sólidos Suspendidos (SS)	6463 mg/lit
Sólidos Sedimentables (SSED)	280 mg/lit
Sólidos Totales Volátiles (STV)	15120 mg/lit

**Tabla 20 Resultados de Porcentajes Remoción de Contaminantes<sup>53</sup>**

ELEMENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO	% REMOCION CONTAMINANTES								
	DQO	DBO	ST	SS	SV	SD	SSED	P	N
RAFA	70	75	70	70	70	70	70	80	80
LODOS ACTIVADOS	75	90	60	-	-	-	80	-	-
LAGUNA ANAEROBIA	60	50	75	70	70	70	80	-	-
LAGUNA AEROBIA	80	90	70	-	-	-	85	60	60
LAGUNA FACULTATIVA	75	80	75	-	-	-	80	50	50
BIODIGESTOR	60	70	65	-	-	-	75	-	-

Estos porcentajes de remoción son teóricos, y son tomados de los textos consultados para el diseño de nuestra propuesta, y deben de ser revisados en la realidad para un eficiente funcionamiento de la planta de tratamiento.

Tomando los porcentajes de remoción de la tabla 20, se calculan los remanentes posteriores al tratamiento primario, en los diferentes elementos de tratamiento, por ejemplo, se tiene una DBO 25000 mg/lit, y una remoción de contaminante de DBO de un RAFA del 75%, calculamos el 25% remanente de 25000 y resulta de 6250 mg/lit de DBO.

---

<sup>53</sup> Según resultados obtenidos en cada elemento de tratamiento Capitulo III de este trabajo de graduación

**Tabla 21 Resultados Remanentes de Contaminantes de las Aguas Miele<sup>54</sup>**

ELEMENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO	REMANENTES CONTAMINANTES mg/lit								
	<b>DQO 29000</b>	<b>DBO 25000</b>	<b>ST 20841</b>	<b>SS 6463</b>	<b>STV 15120</b>	<b>SD 14374</b>	<b>SSED 280</b>	<b>P 25</b>	<b>N 20</b>
RAFA	8700	6250	6253	1939	4536	4313	84	5	4
LODOS ACTIVADOS	7250	2500	8337	-	-	-	56	-	-
LAGUNA ANAEROBIA	11600	12500	5211	1939	4536	4313	56	-	-
LAGUNA AEROBIA	5800	2500	6253	-	-	-	42	8	10
LAGUNA FACULTATIVA	7250	5000	5211	-	-	-	56	10	12.5
BIODIGESTOR	11600	7500	9379	-	-	-	70	-	-

Con estos valores remanentes, tomamos el menor valor y se compara contra los valores de la propuesta de norma salvadoreña y la norma mexicana, para comprobar si basta con el tratamiento primario para verter el efluente a un cuerpo receptor.

Concentraciones Máximas Permisibles de Parámetros para Verter Agua a un Cuerpo Receptor<sup>55</sup>

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO DE REMOCION mg/lit	CUMPLE CON LA NORMA
DQO mg/lit: 2500	5800	NO CUMPLE
DBO mg/lit: 2000	2500	NO CUMPLE
SOL. SEDIMENTABLES SSED mg/lit: 40	42	NO CUMPLE
SOL. SUSPENDIDOS SS mg/lit: 1000	1939	NO CUMPLE
NITROGENO N mg/lit: 50	4	CUMPLE
FOSFORO P mg/lit: 15	5	CUMPLE

<sup>54</sup> Según contaminantes típicos en las aguas residuales de la tabla 17

<sup>55</sup> Tabla 2, Norma Salvadoreña CONACYT

### Limites Máximos Permisibles para Descarga a un Cuerpo Receptor<sup>56</sup>

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO DE REMOCION	CUMPLE CON LA NORMA
DBO mg/lt: 180	2500	NO CUMPLE
SSED mg/lt: 2	42	NO CUMPLE
SS mg/lt: 180	1939	NO CUMPLE
ACEITES Y GRASAS mg/lt: 20	-	-

Haciendo una comparación de los resultados remanentes obtenidos en la tabla 21, observamos, que ningún valor de los obtenidos posteriormente a los tratamientos primarios, cumple con los requisitos máximos permisibles que exigen ambas normas. Así que se necesita del tratamiento secundario, para una mayor remoción del agua residual.

<sup>56</sup> Tabla 1 Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-027-ECOL/1993

## 5.2 Análisis y Comparación de la Descarga del Tratamiento Secundario

Con los resultados remanentes del tratamiento primario, analizamos los porcentajes de remoción de los tratamientos secundarios.

**Tabla 22 Porcentaje de Remoción de Contaminantes del Sistema Secundario<sup>57</sup>**

ELEMENTO DEL SISTEMA TRATAMIENTO SECUNDARIO	% REMOCION CONTAMINANTES								
	DQO	DBO	ST	SS	SV	SD	SSED	P	N
FILTRO BIOLÓGICO	80	90	-	70	-	-	-	-	-
SEDIMENTADOR	60	45	-	70	-	-	-	-	-
LAGUNA ANAEROBIA	60	50	75	70	70	70	80	-	-
LAGUNA AEROBIA	80	90	70	-	-	-	85	60	60
LAGUNA FACULTATIVA	75	80	75	-	-	-	80	50	50

Tomando en cuenta el máximo valor remanente del efluente resultante del tratamiento primario de la tabla 21, se usará para todos los elementos del tratamiento secundario, y tenemos

<sup>57</sup> Obtenido de Resultados del Capítulo III de este trabajo de graduación

**Tabla 23 Resultados de Contaminación del Efluente del Tratamiento****Primario**

Nitrógeno N	12.5 mg/lt
Fósforo P	10 mg/lt
DBO	12500mg/lt
DQO	11600 mg/lt
Sólidos Totales (ST)	9379 mg/lt
Sólidos Disueltos Totales (SD)	4313 mg/lt
Sólidos Suspendidos (SS)	1939 mg/lt
Sólidos Sedimentables (SSED)	84 mg/lt
Sólidos Totales Volátiles (STV)	4536 mg/lt

**Tabla 24 Resultados de Remoción de contaminantes del Tratamiento****Secundario**

ELEMENTO DEL SISTEMA	REMANENTE CONTAMINANTES mg/lt								
	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>ST</b>	<b>SS</b>	<b>STV</b>	<b>SD</b>	<b>SSED</b>	<b>P</b>	<b>N</b>
FILTRO BIOLÓGICO	2320	1250	-	581	-	-	-	-	-
SEDIMENTADOR	4640	8125	-	581	-	-	-	-	-
LAGUNA ANAEROBIA	4640	6250	2345	581	1360	1293	17	-	-
LAGUNA AEROBIA	2320	1250	2813	-	-	-	13	0	0
LAGUNA FACULTATIVA	2900	2500	2345	-	-	-	17	0	0

Con estos valores remanentes del tratamiento secundario, se compara nuevamente el menor valor obtenido contra los valores de la norma salvadoreña y la norma mexicana, para comprobar si el segundo tratamiento hace cumplir la calidad del efluente, para verterlo a un cuerpo receptor.

Concentraciones Máximas Permisibles de Parámetros para Verter a  
Cuerpo Receptor<sup>58</sup>

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO DE REMOCION mg/lt	CUMPLE CON LA NORMA
DQO mg/lt: 2500	2320	CUMPLE
DBO mg/lt: 2000	1250	CUMPLE
SOL. SEDIMENTABLES SSED mg/lt: 40	13	CUMPLE
SOL. SUSPENDIDOS SS mg/lt: 1000	581	CUMPLE
NITROGENO N mg/lt: 50	0	CUMPLE
FOSFORO P mg/lt: 15	0	CUMPLE

Limites Máximos Permisibles para Descarga a un Cuerpo Receptor<sup>59</sup>

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO DE REMOCION	CUMPLE CON LA NORMA
DBO mg/lt: 180	2320	NO CUMPLE
SSED mg/lt: 2	13	NO CUMPLE
SS mg/lt: 180	581	NO CUMPLE
ACEITES Y GRASAS mg/lt: 20	-	-

Observamos que, después del tratamiento secundario, se logra remover los contaminantes, hasta cumplir los valores permisibles de la propuesta de norma salvadoreña del CONACYT, pero no logran alcanzar los valores de la Norma Mexicana.

### 5.3 Análisis y Comparación de la Descarga Final.

Para lograr una remoción que cumpla con los valores máximos permisibles por las normas que estamos aplicando necesitaríamos de

<sup>58</sup> Tabla 2, Norma Salvadoreña CONACYT

<sup>59</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-027-ECOL/1993

implementar los elementos más efectivos que hemos analizado en los apartados anteriores, siendo estos para los diferentes contaminantes:

Tratamiento Primario

Para la DQO: Laguna Aerobia

Para la DBO: Lodos Activados y Laguna Aerobia

Para SSED: Laguna Aerobia

Para SS: RAFA, Laguna Aerobia

Tratamiento Secundario:

Para DQO: Filtro Biológico y Laguna Aerobia

Para DBO: Filtro Biológico, Sedimentador y Laguna Aerobia

Para SSED: Laguna Aerobia

Para SS: Sedimentador, Filtro Biológico y Laguna Aerobia

Combinando la efectividad de estos sistemas lograremos una remoción que hará que el efluente cumpla con los valores máximos permisibles que exige la Norma Salvadoreña CONACYT.

La Propuesta de planta de tratamiento ideal para un beneficio de café, la exponemos a continuación:

Tratamiento Preliminar:

- Rejillas

- Desarenador
- Pila homogenizadora
- Medidor de caudal

#### Tratamiento Primario:

- Lodos Activados
- RAFA

#### Tratamiento Secundario

- Filtro Biológico
- Sedimentador
- Laguna Aerobia

#### Tratamiento Complementario

- Digestor de Lodos
- Patios de Secado de Lodos

Esta es una planta de tratamiento completa con elementos de máxima eficiencia de remoción<sup>60</sup>, que dará mejores resultados en los beneficios húmedos de café. Y evitará que los cuerpos receptores se contaminen debido a las aguas mieles de lavado o que el agua pueda ser reutilizada.

---

<sup>60</sup> Según datos expuestos en este capítulo, tabla 20 y 22, páginas 242 y 245

De ser posible, se debe de brindar una recirculación al efluente en el filtro biológico, además se puede agregar otro sedimentador al final del tratamiento secundario, como medida de clarificar aun más el agua.

Esta planta de tratamiento trata de ser lo más eficiente y eficaz posible, manteniendo un equilibrio entre el espacio disponible y lo funcional, pero sobre todo que brinde un efluente que pueda ser empleado en los diversos usos mencionados en el capítulo IV.

## **6.0 ANALISIS DE LAS PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS SISTEMAS EN LOS DIFERENTES BENEFICIOS DE CAFÉ.**

Se hará el análisis de cada apartado para beneficios de café pequeños y de topografía quebrada. Esto por efectos de espacio dentro del beneficio, considerando la situación más desfavorable para implementar los diferentes sistemas de tratamiento para que se adecuen a estos. Además es de recordar que los beneficios de café pequeños, generan cantidades moderadas de agua miel, por lo que los elementos de tratamiento no serán de gran tamaño.

### **6.1 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Preliminar.**

a) Rejas: este elemento no representa problema de espacio, ya que instala dentro de los canales de transporte de agua, se ubica al principio del sistema de tratamiento preliminar, o en el canal del desarenador.

b) Desarenadores: estos ocupan poco espacio dentro del sistema, es necesario construir elementos dobles paralelos, para que uno sirva de by pass mientras el otro trabaja durante el proceso de mantenimiento.

c) Medidores de caudal Parshall: tampoco representan problemas de espacio en una planta de tratamiento, la dimensión escogida del medidor parshall (capítulo III), dependerá del caudal que se transporte, así que en beneficios de café pequeños, este no requerirá de gran área superficial.

d) Pilas de homogenización: estas representan el elemento de mayor dimensión dentro del tratamiento preliminar, diseñado para homogenizar el

caudal y la carga contaminante, se dimensiona de acuerdo a la disponibilidad de espacio dentro del beneficio, así se puede modificar su geometría en lo largo, ancho y profundidad.

Dentro de los beneficios pequeños, este tratamiento no requiere de mucho espacio, ya que consta en su mayor parte de canales para transporte de agua residual.

Cuando el área es demasiado reducida, se pueden construir los canales de transporte en forma de “S” para aprovechar al máximo posible el espacio disponible, también se puede recurrir a construir los elementos en todo el perímetro del beneficio de café. Así mismo se pueden construir canales con cascadas, cuando la superficie sea demasiado irregular o tenga gran pendiente.

## **6.2 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Primario.**

La implementación de los diferentes sistemas primarios, se detalla a continuación

a) RAFA: requiere de poco espacio superficial, pero se requiere que este elemento sea lo más alto posible, para que el flujo ascendente permanezca el máximo de tiempo posible en contacto con los lodos del fondo. También es necesario proveerle de un sistema adecuado de extracción de gases, así como de un sistema de purga de lodos, para su mantenimiento.

b) Lodos Activados: este sistema necesita un espacio grande para ubicar la pila de aireación, el tanque sedimentador, equipo de bombeo de recirculación

de lodos, el equipo de aireación, así como también el sistema de purga de lodos. Por lo que este elemento necesita de más análisis de campo para la implementación en beneficios de espacio reducido.

c) Lagunas de Estabilización: este elemento definitivamente presenta dificultades en la implementación en un beneficio de café pequeño, ya que este requiere de grandes extensiones superficiales para que funcione correctamente, por lo que su aplicación en un beneficio de café pequeño o que tenga irregularidad de superficie o desnivel, requerirá de un análisis económico y técnico mas profundo, para dar solución a esta situación.

### **6.3 Análisis de las Propuestas del Tratamiento Secundario.**

La implementación de los elementos del sistema secundario de tratamiento, se detalla a continuación:

a) Filtro Biológico: este filtro requiere de una superficie considerable, y se puede construir de forma circular o rectangular. Para beneficios de café pequeños, se debe estudiar muy bien la ubicación de este filtro, y más aún cuando este se implementará con dos filtros en serie. También es necesario realizar un análisis económico y técnico para implementar el sistema de distribución superficial del agua lo más efectivo posible.

b) Sedimentador: este tanque lo hemos propuesto de forma circular, y requiere de superficie considerable, pero es de estudiar muy bien su ubicación dentro del beneficio. El sistema de purga de lodos debe estudiarse a

profundidad para que no brinde problemas a la hora de transportarlos hacia los digestores.

c) Lagunas de Estabilización: nuevamente quedan descartadas para beneficios pequeños, por su requisición de amplio espacio.

Es de hacer notar que si no existe un sistema de transporte de lodos, este deberá ser transportado manualmente, por lo que la distribución de los elementos debe ser la adecuada.

#### **6.4 Análisis de las Propuestas de los otros Tratamientos constituyentes.**

La implementación de los tratamientos constituyentes o tratamiento terciario se describen a continuación:

a) Patios de Secado: estos requieren de amplio espacio, esta superficie requerida va relacionada con la superficie de los patios de secado de grano de café, ya que los lodos que se generan en una planta de tratamiento de aguas mieles de café, provienen en un 95% de la pulpa y mucílago. Se recomienda ubicarlo cerca de los digestores de lodos.

b) Digestor de Lodos: este no es problema en un beneficio de café pequeño, ya que puede estar enterrado siempre y cuando se le brinde de un sistema de purga por presión hidrostática adecuado, o un sistema de succión, que es más complicado, también ubicarlo en los límites del terreno cerca de los patios de secado de lodo es muy conveniente.

Cuando no exista un sistema adecuado de transporte de lodos, este será movilizado manualmente, y requerirá de una distribución de los elementos de tratamientos para que la ruta de transporte sea lo más corta posible.

## 7.0 DESARROLLO DEL PROGRAMA INFORMATICO Y SU APLICACION

### 7.1 Instalación y Ejecución del DHS

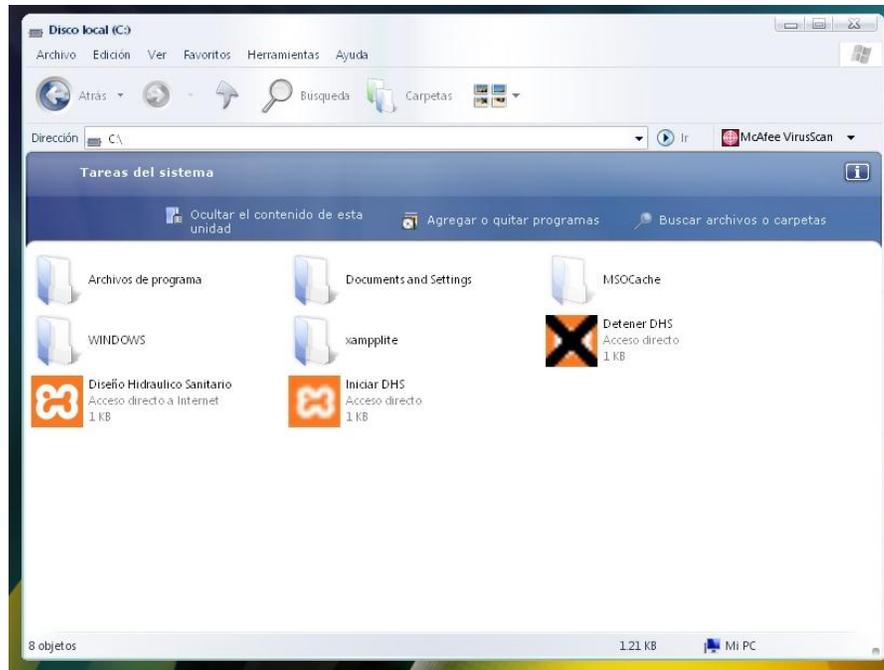
El Software para Diseño Hidráulico Sanitario trabaja sobre el servidor Web Apache programado sobre el Lenguaje PHP en combinación con HTML, lo que significa que la interfaz del programa es similar a una Página Web (Aplicación Web)

Para la instalación y ejecución de dicho software deben realizarse los pasos que se describen a continuación:

1. Copiar el directorio xampplite a la raíz del disco duro (unidad C:) al igual que los accesos directos: Iniciar DHS, Detener DHS y Diseño Hidráulico Sanitario. El directorio y los accesos directos se encuentran en el CD proporcionado.



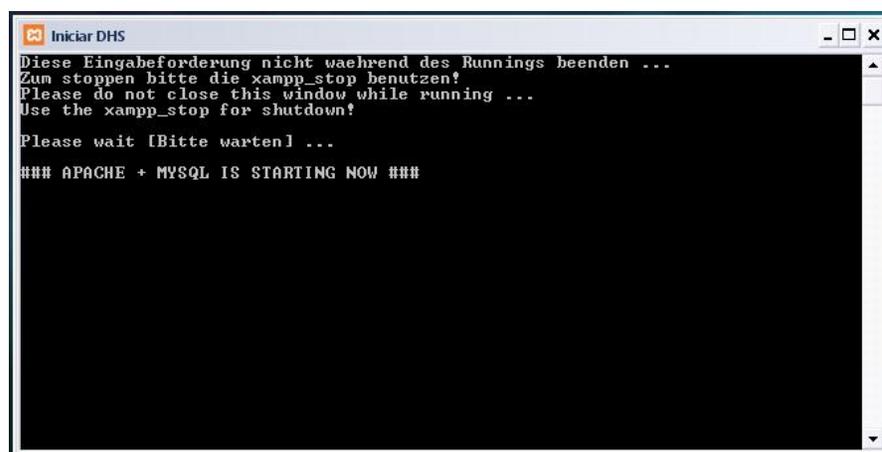
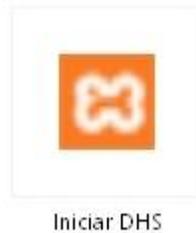
Para el correcto funcionamiento del programa se debe asegurar que el directorio y los accesos directos estén ubicados en la raíz de la unidad de disco duro.



2. Después de haber copiado los archivos al disco, solamente resta la ejecución del programa:

### PRIMER PASO

Hacer doble clic sobre el icono: **Iniciar DHS**, de inmediato aparecerá una ventana de ambiente MS-DOS indicando el inicio de los servidores de ejecución del sistema.

Una captura de pantalla de una ventana de terminal con el título 'Iniciar DHS'. El contenido de la terminal muestra instrucciones en alemán, inglés y español, y un mensaje de inicio de Apache y MySQL.

```
Iniciar DHS
Diese Eingabeforderung nicht waehrend des Runnings beenden ...
Zum stoppen bitte die xampp_stop benutzen!
Please do not close this window while running ...
Use the xampp_stop for shutdown!

Please wait [Bitte warten] ...
### APACHE + MYSQL IS STARTING NOW ###
```

Esta ventana debe mostrar el mensaje: **APACHE + MYSQL IS**

**STARTING NOW**

Dicha ventana debe estar abierta mientras se este utilizando el **Sistema de Diseño Hidráulico Sanitario**

## SEGUNDO PASO

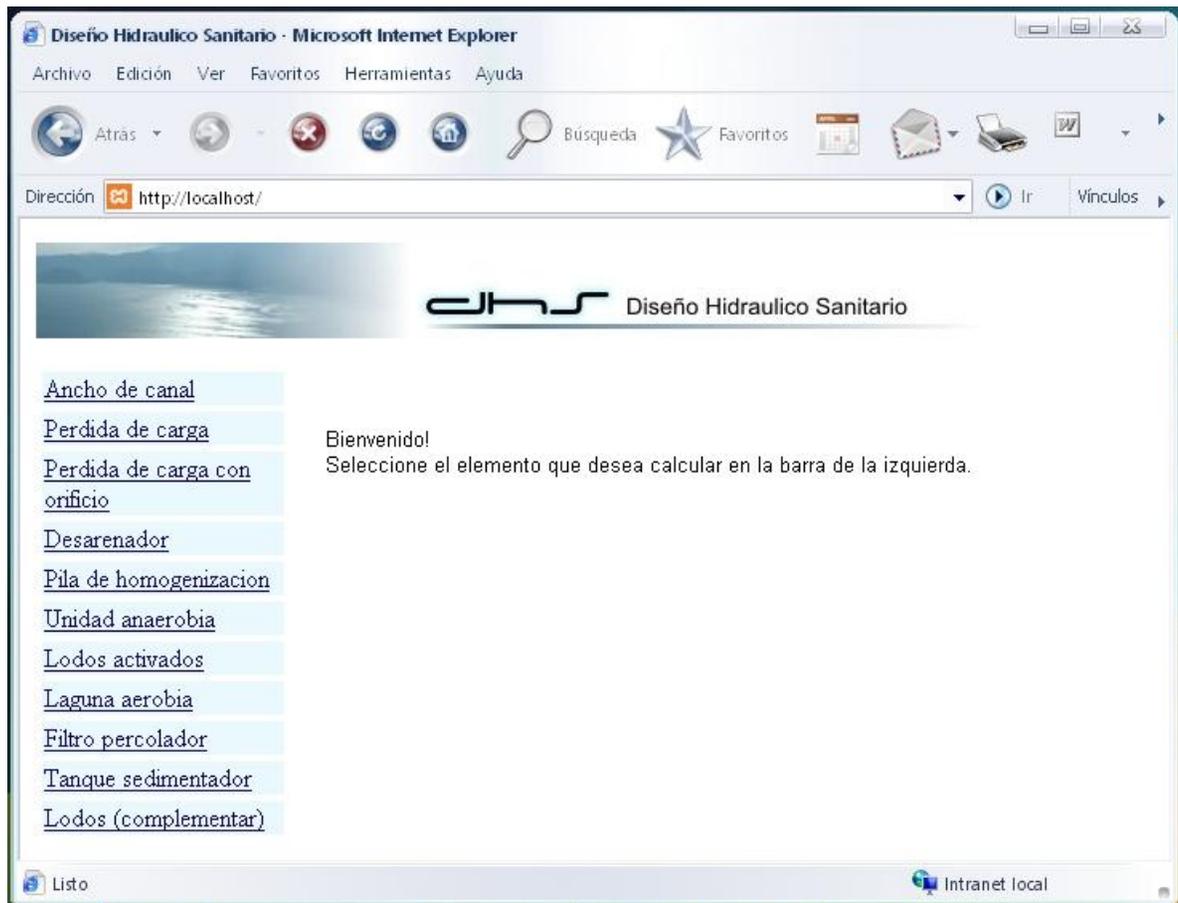
Ahora se debe proceder a la ejecución del Software de Aplicación, para ello basta con hacer doble clic sobre el acceso directo llamado: **Diseño Hidráulico Sanitario**



Diseño Hidraulico  
Sanitario

Se abrirá el navegador (Internet Explorer por ejemplo) mostrando la pantalla de bienvenida del Sistema.

Ahora el sistema se encuentra listo para la realización de cálculos.

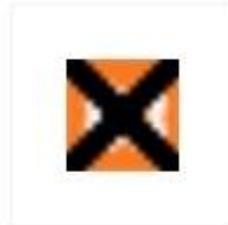


## Cerrando el Sistema

Para cerrar la ejecución del servidor debe hacer doble clic en el icono:

Detener DHS

Nuevamente se muestra una ventana de MS-DOS por unos segundos y luego se cierra automáticamente finalizando por completo.



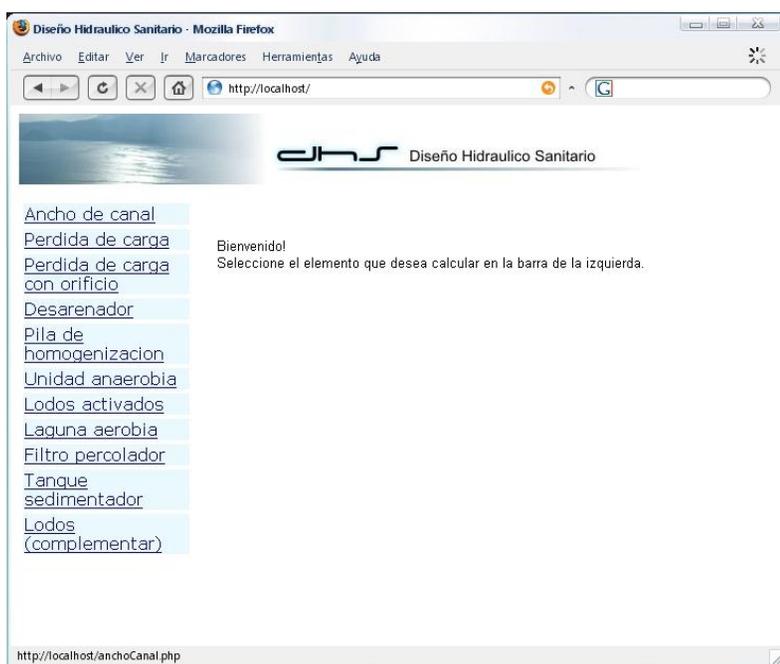
Detener DHS

```
Detener DHS
MySQL stop ...
Apache killed ...
apache.exe      (648)
apache.exe      (4140)
Apache pid delete ... SHUTDOWN COMPLETE!
```

## 7.2 Manual de Usuario del DHS.

La interfaz Web del **DHS** facilita las labores de cálculo distribuyendo los elementos a calcular en la columna de la izquierda.

Para iniciar el cálculo debe hacer clic sobre algunos de estos elementos.



Para el ejemplo se hizo clic en el elemento: **Ancho de canal**, y de inmediato aparecerá en la parte derecha de la pantalla el formulario para inserción de datos.

Diseño Hidraulico Sanitario - Mozilla Firefox

Archivo Editar Ver Ir Marcadores Herramientas Ayuda

http://localhost/

**Diseño Hidraulico Sanitario**

**Ancho de canal**

Perdida de carga  
Perdida de carga con orificio  
Desarenador  
Pila de homogenizacion  
Unidad anaerobia  
Lodos activados  
Laguna aerobia  
Filtro percolador  
Tanque sedimentador  
Lodos (complementar)

**Diseño Hidraulico Sanitario**  
*Determina: Ancho de Canal*

Diametro de barras (cm)

Separacion de barras (cm)

Inclinacion de las rejias (grados)

Ancho de canal (pulg.)

Calcular Borrar

http://localhost/anchoCanal.php

Luego de digitar los datos debe hacerse clic en el botón **Calcular** y aparecerán los resultados.

Diseño Hidraulico Sanitario - Mozilla Firefox

Archivo Editar Ver Ir Marcadores Herramientas Ayuda

http://localhost/

**Diseño Hidraulico Sanitario**

**Ancho de canal**

Perdida de carga  
Perdida de carga con orificio  
Desarenador  
Pila de homogenizacion  
Unidad anaerobia  
Lodos activados  
Laguna aerobia  
Filtro percolador  
Tanque sedimentador  
Lodos (complementar)

**Diseño Hidraulico Sanitario**  
*Determina: Ancho de Canal*

Resultados

Area de la Alcantaria:	324.292786622 cm <sup>2</sup>
Area de la Abertura:	648.58573245 cm <sup>2</sup>
Longitud de la Rejilla:	40.64 cm
Ancho total de la Abertura:	15.9592906802 cm
Numero de Aberturas:	2 aberturas
Numero de Barras:	3 barras
Ancho de la Camara de Rejas:	23 cm
Tirante de la Camara:	29 cm
Longitud de las barras:	50 cm

Listo

Debe tener en cuenta que los datos a introducir deben estar en las unidades indicadas para cada campo, de lo contrario los resultados serán erróneos.

De igual manera los datos introducir deben ser **UNICAMENTE** números, sino el sistema mostrará mensajes de error al procesar los datos.

El mismo procedimiento debe realizarse para el cálculo de cualquier elemento del sistema

## **8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 Conclusiones**

- El trabajo de graduación es una herramienta de ayuda para implementar una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficiado húmedo de café.
- Los datos que utilizamos en los diseños, son teóricos y desactualizados, y se requiere de datos reales para la eficiente remoción de contaminantes. Y los resultados deben ser monitoreados en la realidad para su óptimo funcionamiento.
- Los diseños que hemos presentado, son los más empleados en nuestro país, pero pueden haber otros tipos que no hemos presentado. Además pueden ser aplicados a todos los beneficios de café del país; y queda a criterio del ingeniero encargado del diseño, cuales elementos elegir.
- Los beneficios de café deben de elaborar programas de monitoreo continuo en las plantas de tratamiento que se implementen en cada beneficio, con un control del sistema.
- Se debe hacer un diseño arquitectónico para la distribución óptima de los elementos de tratamiento, que se adecue al espacio disponible dentro de un beneficio de café.

- El programa informático presentado en este trabajo de graduación, es una herramienta básica que nos ayudara para diseñar plantas de tratamiento en beneficios húmedos de café. Este programa DHS calcula las dimensiones geométricas de los elementos de tratamiento, brinda únicamente datos numéricos para su interpretación a la hora del diseño.
- No existe una regulación para los beneficios de café para obligar la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- La propuesta ideal que brindamos en el capítulo V, es la que contiene los elementos de diseño mas eficientes, y que removerán completamente los contaminantes producidos por el beneficiado húmedo de café.
- El tratamiento primario no basta para remover completamente los contaminantes de las aguas del beneficiado húmedo de café y es el tratamiento secundario, es el que se encargará de remover los remanentes de contaminantes que resultan del efluente del tratamiento primario.
- Los otros elementos constituyentes del sistema de tratamiento, siempre son necesarios para complementar el efectivo tratamientos de los lodos resultantes de los otros tratamientos (primario y secundario)
- Las propuestas de reuso del agua tratada se pueden llegar a hacer efectivas, siempre y cuando el tratamiento que se le de remueva

satisfactoriamente los contaminantes según la propuesta de la norma del CONACYT, todo esto posterior a las pruebas de laboratorio del efluente final.

- Se necesita mayores recursos para implementar sistemas de reutilización de la pulpa y el pergamino del café, ya que se debe hacer otros sistemas para ello.

## **8.2 Recomendaciones.**

- Ampliar la literatura con relación a elementos de diseño de elementos de tratamiento de aguas residuales.

- Hacer muestreos del afluente en cada elemento de tratamiento. Así como en el efluente. En cada beneficio de café donde se implemente la planta de tratamiento..

- Pedir pruebas de campo a un laboratorio especializado en aguas residuales, de las concentraciones de contaminantes en las aguas de despulpe y aguas mieles de lavado. Hacer censos en las comunidades vecinas, para conocer las necesidades de agua de esta y los problemas que estas puedan tener con la contaminación.

- Elaborar un programa de mantenimiento para cada elemento de tratamiento de aguas, así como calendarios para el muestreo.

- Hacer más estudios de contaminación de las aguas mieles de café en El Salvador para que se tenga mayor control de los cuerpos receptores

contaminados y las comunidades que afecta cada beneficio de café. Así como diagnósticos del estado actual de las plantas de tratamiento existentes en los beneficios de café en El Salvador.

- Continuar las investigaciones con respecto a los diseños estructurales de cada elemento de diseño que hemos presentado, así como las relacionadas a procesos constructivos y costos de las plantas de tratamiento aguas residuales en beneficios de café.

- Hacer más estudios con respecto a la distribución espacial de las unidades de tratamiento dentro de un beneficio de café, sea cual fuese la topografía y área de este. Ampliar los estudios de reutilización del agua tratada y de los residuos sólidos que hemos presentado, y que se investigue más con profesionales del sector agroindustrial, ya que estos generan ganancias en los beneficios de café. Así como investigar más a fondo el aprovechamiento del gas metano generado por algunos elementos de tratamiento.

- Mejorar, ampliar y actualizar el programa informático, presentado en este trabajo de graduación, así como los relacionados con tratamientos de aguas residuales.

- Elaborar leyes o reglamentos obliguen un estudio del impacto ambiental en cada beneficio de café del país, para conocer la verdadera magnitud del daño en el medio ambiente y las comunidades cercanas.

- Recomendamos a las cooperativas de beneficios de café crear programas de financiamiento auto sostenibles para el diseño, construcción, mantenimiento y monitoreo de plantas de tratamiento.

Para implementar una planta de tratamiento de aguas residuales se requiere la formación de un equipo integral de profesionales en varias ramas para solucionar la mayor cantidad de problemas y necesidades del beneficio de café y sus alrededores.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Guzmán Mazariego, María Raymunda y otros. Importancia de los Desechos Líquidos del Beneficiado de Café como Contaminantes de las Aguas. Trabajo de Graduación Ing. Agronómica. Facultad de Ciencias Agronómicas UES. San Salvador. 1981.
2. Arévalo Martínez, Miguel Francisco y otros, Optimización del Consumo de Agua en el Beneficiado de Café, como Alternativa para Disminuir la Contaminación por Aguas Mieles Residuales, Trabajo de Graduación Ing. Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura UES, San Salvador 1984
3. Montes Arias, Mario Wilfredo, Catastro de Vertidos Industriales y Agroindustriales en El Salvador, Trabajo para la OPS, tablas estadísticas, San Salvador 1993
4. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Apuntes Actualizados para el Curso del Tratamiento de Aguas Residuales en El Salvador, San Salvador 1997
5. Mejía Artiga, Cristóbal, Identificación de Empresas Agroindustriales generadoras de Aguas Residuales y Desechos Sólidos en El Salvador, MAG – MARN, Nueva San Salvador 2002
6. Martínez Luzardo, Francisco, Aguas Residuales en Beneficios Húmedos de Café, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología, La Habana 2002.

7. Secretaria Desarrollo Social, Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-027-ECOL/1993 que establece los niveles máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria del beneficio de café, México D.F. 1993
8. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Norma Salvadoreña de Agua Potable, Agua Envasada y Aguas residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, San Salvador 1997
9. Gobierno de El Salvador, Reglamento Especial de Aguas Residuales, Decreto 39, San Salvador 2000
10. Gochez Staben, J.E. Contaminación de las Aguas por los Desechos Líquidos de Beneficios de Café. Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. El Salvador 1974
11. Barba Ho, Luz Edith. Conceptos Básicos de Contaminación del Agua. Universidad del Valle, Santiago de Cali 2002.
12. Nemerow, Nelson L. Aguas Residuales Teorías, Aplicación y Tratamiento. Ed. H. Blume. 1977.
13. Barnes, George E., Tratamiento de Desechos industriales, Ed. RABASA S.A. Mexico 1967
14. Winkler, Michael A., Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho
15. Rigola La Peña, Miguel, Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales

16. Tchobanoglous, George, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Ed. McGraw Hill, Colombia 2000
17. Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, 3ra. Ed, Ed. McGraw Hill, Mexico 1996
18. Kiely, Gerard, Ingeniería Ambiental, Ed. McGraw Hill, Madrid 1999

# **A N E X O S**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



TRABAJO DE GRADUACION:

**“PROPUESTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN BENEFICIOS HUMEDOS  
DE CAFE.”**

PRESENTADO POR:

**Br. MOLINA GUARDADO, ALEX ERNESTO**

**Br. VILLATORO MARTINEZ ROLANDO ANTONIO**

DOCENTE DIRECTOR:

**M. Sc. ING. LUIS ALBERTO GUERRERO (COORDINADOR)**

**M. Sc. ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRON (ASESOR)**

**ING. MIGUEL FRANCISCO AREVALO MARTINEZ (ASESOR)**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2006.

## INDICE

	PAG.
INTRODUCCIÓN .....	i
ANTECEDENTES .....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS .....	7
ALCANCES .....	8
LIMITACIONES .....	9
JUSTIFICACIONES .....	10
PROPUESTA DE CONTENIDO DEL TRABAJO DE GRADUACION .....	11
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y EVALUACIONES .....	22
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR .....	23
PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS A UTILIZAR.....	24
CONCLUSIONES .....	25
RECOMENDACIONES .....	26
BIBLIOGRAFÍA .....	26
ANEXOS	

Criterios para el diseño de biofiltros.

El diseño de estos filtros biológicos se basa por lo general en el tiempo de residencia del gas en el medio filtrante, la carga unitaria de aire y la eliminación de constituyente, la cual se define como:

$$EC = \frac{Q(C_o - C_e)C}{V} \quad \text{ec. 47}$$

Donde

$EC$  = velocidad de eliminación de constituyente,  $\text{g/m}^3\text{-s}$

$Q$  = caudal,  $\text{m}^3/\text{s}$

$C_o$  = concentración afluente del constituyente,  $\text{g/m}^3$

$C_e$  = concentración efluente del constituyente,  $\text{g/m}^3$

$V$  = volumen de lecho vacío,  $\text{m}^3$

Las velocidades de eliminación de constituyentes se determinan en forma experimental y se reportan por lo general como una función de la tasa de carga del constituyente (p. ej.,  $\text{mg H}_2\text{S}/\text{m}^3\text{h}$  para sulfuro de hidrógeno). Yang y Alien (1994) registraron un velocidad de tipo lineal 1 a 1 para la remoción de  $\text{H}_2\text{S}$ , alcanzando un valor de carga máxima de cerca de  $130 \text{ g S}/\text{m}^3\text{-h}$ . Por tanto, la remoción de  $\text{H}_2\text{S}$  es bastante sencilla mediante biofiltros.

Criterios usuales sobre características del medio filtrante (p. ej., compost, arena) para el diseño de estos biofiltros se encuentran en la tabla 5.20. En la figura 5.55 se puede observar un diagrama de la configuración habitual de un biofiltro. Durante la operación, los biofiltros tienden a secarse por acción del paso de gas que ocasiona pérdida de humedad, lo cual se soluciona humedeciendo periódicamente el medio filtrante. Entre las características físicas óptimas para un material filtrante están: pH entre 6 y 8, espacio libre entre poros del 40% al 60%, y contenido de materia orgánica entre 35% y 55% (Williams y Miller, 1992).

Algunas normas estatales regulan el diseño de biofiltros; el Department of Environmental Protection de Massachusetts en Estados Unidos ha trazado lineamientos sobre cargas superficiales de aplicación, velocidades específicas de emisiones en biofiltros, muestreo de olores y ubicación de barreras para delimitar el terreno. Bajo estas políticas, el límite de emisión de olor en la superficie del biofiltro es de 50 disoluciones para alcanzar la concentración umbral de olor. La carga superficial máxima no debe superar los 3 pies<sup>3</sup>/pie<sup>2</sup>-min (Finn y Spencer, 1997).

### **Tabla 25 Parámetros de Diseño de Biofiltros**

Parámetro	Unidades	Valor
Concentración de oxígeno	Partes de 100 oxígeno/partes	
Humedad del compost como medio	%	40-50
Humedad del Suelo como medio	%	10-25
temperatura óptima	°C	37
pH del medio	sin unidades	6-8
Tiempo de residencia del gas	s	30-60
Profundidad del medio	pies	3-5
Carga superficial	pie <sup>3</sup> /pie <sup>2</sup> -min	1.5-3
Presión de alimentación máxima	pulg de agua	8

' Adaptado de WEF (1995,1997], WÜiorm y Milier (1992b), y Finn y Spencer (1997).

Características del medio filtrante para el diseño de biofiltros\*

Diseño de un Biofiltro para el control de olores.

Determinar el tamaño de un filtro que emplea el compost como medio filtrante para el lavado de aire confinado en un tanque de 100 pies<sup>3</sup> empleando los criterios de diseño de la tabla 7. Suponga que se requiere purgar el tanque en su totalidad 12 veces por hora y la porosidad del medio filtrante es de 40%. Cual será el volumen del biofiltro si el aire a tratar contiene 100 ppm de H<sub>2</sub>S, además de otros compuestos olorosos.

Solución:

Estime el caudal de aire a lavar:

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{tiempo}$$

$$Q = 100 \times 12 \text{ purgas por hora} = 1200 \text{ pie}^3/\text{h}$$

Elegir una tasa superficial de la Tabla XXX, usar 2.5 pie<sup>3</sup>/pie<sup>2</sup>.min

Elegir una profundidad del medio filtrante de la tabla XXX, usar 4 pies

Calcular el área y volumen del medio filtrante

$$\text{Area} = \text{Flujo de Gas} / \text{Carga superficial} \quad \text{ec. 48}$$

$$= (1200 \text{ pie}^3/\text{h}) / (2.5 \text{ pie}^3/\text{pie}^2 \cdot \text{min})$$

$$= 48 \text{ pie}^2$$

$$\text{Volumen} = 48 \times 4 = 192 \text{ pie}^3$$

Revisar el tiempo de retención del aire:

$$\text{Tiempo de retención} = \text{Volumen} / \text{Caudal}$$

$$\text{Volumen del aire} = 8 \text{ pie}^2 \times 4 \text{ pie} \times 0.4 = 12.8 \text{ pie}^3$$

$$\text{Tiempo de retención} = 12.8 \text{ pie}^3 / 20 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$= 0.64 \text{ min} = 38 \text{ seg} \quad \text{Ok} \quad \text{tr} > 30 \text{ seg}$$

Los biofiltros eliminadores de olores se utilizan posteriores a cualquier sistema anaerobio que genera olores, la recolección de los gases y malos olores se realiza por medio de tuberías que transportan el gas hacia el biofiltro para su posterior depuración.