



1 01177

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO CAMPUS MORELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCICOLAS. CINÉTICA Y DISEÑO.

T E S I S

COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA
(AMBIENTAL)

PRESENTA:
DIMNA EDALY ALARCÓN HERNÁNDEZ

DIRECTORA DE TESIS:
M.C. VIOLETA E. ESCALANTE ESTRADA



JUTEPEC, MORELOS

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Dios

Gracias por todas las oportunidades que aún sin merecer me has brindado.

A mis padres

Mercedes Hernández Ramírez y Martín Alarcón Hernández, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, gracias por darme su confianza, su amor y su apoyo.

A mis hermanos y mi sobrina

Eydie Teresa, Laura Guadalupe, Mauricio Martín e Isis Dayan, por ser una parte importante de mi felicidad en este mundo.

A mi esposo

José Jesús Barrios Campos, sin ti este sueño no hubiera sido realidad, gracias por tu apoyo, confianza y amor. Te amo.

A toda mi familia y amigos mil gracias....

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Al Centro Bachillerato Técnico Agropecuario #8, por el apoyo brindado tanto en instalaciones como en personal para la realización del proyecto.

A mi directora de tesis M.C. Violeta E. Escalante Estrada, por el apoyo y paciencia brindada en la realización del presente trabajo, muchas gracias.

A mis sinodales Dra. Petia Mijaylova Nacheva, Dra. Gabriela Moeller Chavez, M.C. Esperanza Ramírez Camperos, M.C. Lina Cardoso Vigueros, por haber aceptado revisar este trabajo.

Al personal de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Campus Morelos, en especial a la Lic. Marilú Barba Cordova.

A todas y cada una de las personas que hicieron posible este sueño.

Mil Gracias.....

INDICE

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS	2
JUSTIFICACIÓN	3
INTRODUCCIÓN	4
I. PORCICULTURA	6
1.1. Porcicultura en el mundo	7
1.2. Porcicultura en México	9
1.3. Trabajos y problemas de las dif. del país	11
1.3.1. Región I (Sur)	11
1.3.2. Región II (El bajo)	12
1.3.3. Morelos	12
II. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Aguas residuales	14
2.1.1. Clasificación de las aguas residuales	15
2.1.2. Parámetros de calidad del agua	15
2.1.3. Tratabilidad de las aguas residuales	15
2.2. Tratamiento biológico	16
2.2.1. Tratamiento aerobia	17
2.2.2. Tratamiento anaerobio	17
2.3. Lagunas de estabilización	19
2.3.1. Clasificación	20
2.3.2. Lagunas anaerobias	21
2.3.3. Lagunas facultativas	22
2.3.4. Lagunas de maduración	23
2.4. Aspectos de construcción	23
2.5. Impermeabilización de lagunas	23
2.5.1. Mecanismos de filtración	24
2.5.2. Técnicas de impermeabilización	25
2.5.2.2. <i>Sellado natural y tratamientos químicos</i>	25
2.5.2.3. <i>Revestimientos rígidos</i>	25
2.6. Factores que influyen en el diseño y operación de lagunas de estabilización	26
2.6.1. Factores ambientales	26
2.6.2. Factores físicos	27
2.6.3. Factores químicos	27
2.6.4. Factores microbiológicos	28
2.6.5. Problemas de operación	28
2.7. Selección del lugar	28
2.8. Diseño de lagunas	29
2.8.1. Lagunas anaerobias	29
2.8.2. Lagunas facultativas	31
2.8.3. Lagunas de maduración	33
2.8.3.1. <i>Método de Marais</i>	33
2.8.3.1. <i>Método de Yáñez</i>	35
2.9. Determinación de constantes cinéticas bajo el modelo de flujo disperso (ecuación de Thirumurthi)	39

III. METODOLOGIA	42
3.1. Características de las aguas residuales	43
3.2. Selección del sitio	44
3.3. Ubicación de la planta piloto	44
3.4. Prueba de permeabilidad del suelo	45
3.5. Descripción de la planta de tratamiento	45
3.5.1. Tren de tratamiento de la planta piloto	45
3.5.2. Puntos de muestreo	48
3.6. Parámetros de muestreo	48
3.6.1. Criterios de selección de parámetros	48
3.6.2. Frecuencias de muestreo	50
3.6.3. Toma de muestra, preservación y método de análisis	51
3.6.3.1. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	51
3.6.3.2. <i>Parámetros microbiológicos</i>	51
3.7. Diseño de sistema lagunar para el CEBETA	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	55
4.1. Resultados de campo	56
4.2. Profundidad de lodos	66
4.3. Oxígeno disuelto	66
4.3.1. Oxígeno disuelto en laguna facultativa	66
4.3.2. Oxígeno disuelto en laguna de maduración I	67
4.3.3. Oxígeno disuelto en laguna de maduración II	68
4.3.4. Oxígeno disuelto en laguna de maduración III	69
4.4. Demanda química de oxígeno	70
4.4.1. Laguna anaerobia	70
4.4.2. Laguna facultativa	72
4.4.3. Laguna maduración I	73
4.4.4. Laguna maduración II	74
4.4.5. Laguna maduración III	75
4.5. Coliformes fecales	76
4.5.1. Laguna facultativa	78
4.5.2. Laguna maduración I	79
4.5.3. Laguna maduración II	80
4.5.4. Laguna maduración III	81
4.6. Sólidos	82
4.6.1. Sólidos suspendidos totales	82
4.6.2. Sólidos suspendidos volátiles	84
4.7. Alcalinidad	86
4.8. Grasas y Aceites	87
4.9. Nitrógeno	87
4.10. Carga orgánica	89
4.10.1. Carga orgánica laguna anaerobia	89
4.10.2. Carga orgánica laguna facultativa	90
4.10.3. Carga orgánica laguna de maduración I	91
4.10.4. Carga orgánica laguna de maduración II	92
4.10.5. Carga orgánica laguna de maduración III	93
4.11. Calculo de las cinéticas de degradación de carga orgánica y bacteriana, en las lagunas de estabilización.	93
4.11.1. Laguna anaerobia	94
4.11.2. Laguna facultativa	94
4.9.2.1. <i>Carga orgánica</i>	94

V. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL CEBETA	102
5.1. Descripción de la planta	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXO I	112

INDICE DE LAMINAS

2.5.1. Diagrama de flujo de la planta piloto	47
2.5.2. Ubicación de puntos de muestreo en la planta piloto	49
3.1.1. Variación horaria de temperatura y pH del influente a la laguna anaerobia	57
3.1.2. Variación horaria de temperatura y pH del influente a la laguna facultativa	59
3.1.3. Variación horaria de temperatura y pH del influente a la laguna de maduración I	60
3.1.4. Variación horaria de temperatura y pH del influente a la laguna de maduración II	61
3.1.5. Variación horaria de temperatura y pH del influente a la laguna de maduración III	62
3.1.6. Variación horaria de temperatura y pH del efluente a la laguna de maduración III	63
3.1.7. Variación horaria de temperatura y pH del lodo extraído del sedimentador	65
3.3.1. Perfil de oxígeno disuelto de la laguna facultativa	67
3.3.2. Perfil de oxígeno disuelto de la laguna de maduración I	68
3.3.3. Perfil de oxígeno disuelto de la laguna de maduración II	69
3.3.4. Perfil de oxígeno disuelto de la laguna de maduración III	70
3.4.1. Variación horaria de DQO en la laguna anaerobia PPCEBETA ..	71
3.4.2. Variación horaria de DQO en la laguna de facultativa del PPCEBETA	72
3.4.3. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración I del PPCEBETA	73
3.4.4. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración II del PPCEBETA	74
3.4.5. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración III del PPCEBETA	76
3.5.1. Variación horaria de CF en la laguna facultativa ..	78
3.5.2. Variación horaria de CF en la laguna de maduración I	80
3.5.3. Variación horaria de CF en la laguna de maduración II	81
3.5.4. Variación horaria de CF en la laguna de maduración III	82
3.6.1. Resultados de sólidos suspendidos totales	84
3.6.2. Resultados de sólidos suspendidos volátiles	84
3.7.1. Alcalinidad	86
3.9.1. Variación horaria de carga volumétrica laguna anaerobia	90
3.9.2. Variación horaria de carga superficial laguna facultativa	91
3.9.3. Variación horaria de carga superficial laguna de mad. I	92
3.10.4. Variación horaria de carga superficial de la laguna de mad. II ...	93
3.10.5. Variación horaria de carga superficial de la laguna de mad. III ..	94

INDICE DE TABLAS

1.1. Calidad de entrada y salida de la planta de Singapur	7
1.2. Niveles de nutrientes disponibles en diferentes tipos de estiércol	9
2.2.1. Sistemas utilizados en el tratamiento de aguas residuales	17
2.2.2. Sistemas anaerobios	19
2.8.1. Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles y porcentajes de remoción de DBO a diferentes temperaturas.....	30
2.8.2. Valores de la constante de primer orden para remoción de coliformes fecales a varias temperaturas.....	34
3.6.1. Parámetros medidos en el sistema	50
3.7.1. Descripción de diseño de las lagunas del CEBETA (planta piloto).	52
3.7.2. Relación DQO/DBO ₅	53
3.7.3. Datos de diseño de carga orgánica y carga volumétrica de las lagunas (planta piloto)	54
4.1.1. Datos de campo laguna anaerobia	57
4.1.2. Datos de campo del influente a la laguna facultativa	58
4.1.3. Datos de campo laguna de maduración I	60
4.1.4. Datos de campo laguna de maduración II	61
4.1.5. Datos de campo laguna de maduración III	62
4.1.6. Datos de campo del efluente laguna de maduración III	63
4.1.7. Datos de campo del lodo extraído del sedimentador	64
4.1.8. Variación horaria de temperatura y pH del lodo extraído del sedimentador	65
4.2.1. Profundidad de lodos	66
4.3.1. Oxígeno disuelto en la laguna facultativa	67
4.3.2. Oxígeno disuelto de la laguna de maduración I.....	67
4.3.3. Oxígeno disuelto de la laguna de maduración II	68
4.3.4. Oxígeno disuelto de la laguna de maduración III	69
4.4.1. DQO del influente y efluente de la laguna anaerobia	71
4.4.2. DQO en el influente y efluente de la laguna facultativa	72
4.4.3. DQO del influente y efluente de la laguna maduración I	73
4.4.4. DQO del influente y efluente laguna de maduración II	74
4.4.5. DQO del influente y efluente laguna de maduración III	75
4.5.1. Resultados totales de la determinación de coliformes fecales	77
4.5.2. Variación horaria de CF en la laguna facultativa	78
4.5.3. Variación horaria de CF en la laguna de maduración I	79
4.5.4. Variación horaria de CF en la laguna de maduración II	80
4.5.5. Variación horaria de CF en la laguna de maduración III	81
4.6.1. Resultados de sólidos suspendidos totales	83
4.6.2. Resultados de sólidos suspendidos volátiles	85
4.7.1. Alcalinidad en la planta piloto del CEBETA	86
4.8.1. Grasas y aceites del influente y efluente al sedimentador	87
4.9.1. Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal en el influente y efluente al sedimentador	87
4.9.2. Valores de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal calculados en el influente y efluente del sedimentador.....	88
4.10.1. Carga volumétrica en la laguna anaerobia	89
4.10.2. Carga superficial en la laguna facultativa	90
4.10.3. Carga superficial en la laguna de maduración I	91
4.10.4. Carga superficial en la laguna de maduración II	92

4.10.5. Carga superficial en la laguna de maduración III	93
4.11.1. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna anaerobia	95
4.11.2. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna facultativa	96
4.11.3. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna de maduración I	97
4.11.4. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna facultativa	98
4.11.5. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración I	99
4.11.6. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración II	100
4.11.7. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración III	101
5.1.1. Datos de diseño de las lagunas del CEBETA (planta)	104
5.1.2. Datos de DBO y coliformes fecalesn en las lagunas del CEBETA (planta)	104

ANTECEDENTES

El ser humano ha hecho de la porcicultura una actividad altamente contaminante que incide fuertemente en los cuerpos receptores, no solo de México sino también en el mundo.

La utilización de cantidades excesivas de excretas porcícolas como fertilizantes agrícola y su vertido a los cauces fluviales, constituye un riesgo para los ecosistemas acuáticos que debe ser valorado. El tratamiento y la utilización de las aguas residuales de la industria porcícola representa un verdadero reto, no solo dentro del país, así como también en el ámbito mundial.

Las características físicoquímicas de las excretas que produce un cerdo dependen de una gran abundancia de factores, entre ellos se encuentran la edad del animal, su madurez fisiológica, la calidad y cantidad del alimento consumido, la cantidad de agua consumida y el clima, entre otros.

Las excretas porcinas contienen un alto contenido de materia orgánica biodegradable en un 55% y numerosos elementos contaminantes entre los que destacan: patógenos, nitrógeno y minerales, por lo que la utilización de tratamientos biológicos para este tipo de aguas es viable.

Para el tratamiento de estos desechos principalmente se han utilizado lagunas de estabilización con el enfoque de remoción de materia orgánica sin tomar en cuenta la eliminación de microorganismos patógenos, los cuales causan contaminación a mantos acuíferos, cuerpos receptores, o plantas regadas con esta agua.

Siendo las lagunas de estabilización el método más sencillo de tratamiento de aguas residuales, así como el más económico en cuanto a su operación y mantenimiento, es el más recomendado a los porcicultores, los cuales obtendrán agua que cumpla con los requerimientos descritos en las normas a un menor costo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVO GENERAL:

Determinación de la cinética de degradación de materia orgánica y microorganismos, en lagunas de estabilización (planta piloto) para el tratamiento de efluentes porcícolas.

Objetivos específicos:

- Diseño de una instalación piloto para el tratamiento de efluentes porcícolas por lagunas de estabilización.
- Arranque, operación y mantenimiento de una planta piloto utilizando agua residual de efluentes porcícolas.
- Obtención de constantes cinéticas de degradación de materia orgánica y bacteriana en lagunas de estabilización para el tratamiento de efluentes porcícolas (nivel piloto).

HIPÓTESIS:

Será factible la optimización de una planta de tratamiento de efluentes porcícolas a partir de la determinación de constantes cinéticas de degradación para generar efluente de mejor calidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

JUSTIFICACION:

En México el 75% de las granjas porcícolas cuentan con un sistema de tratamiento, teniendo como mínimo una laguna de oxidación, el 9% tiene un pretratamiento (una fosa o un cárcamo) y el 10% descargan en forma directa, esto es, sin tratamiento a algún cuerpo receptor.

La baja eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales de la industria porcícola en México, se debe principalmente a diseños defectuosos y/o inadecuada construcción, y una mala operación y mantenimiento de las mismas, o a mala operación de las mismas, lo que trae como consecuencia efluentes con alta materia orgánica y organismos patógenos (no cumpliendo con la norma).

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento de bajo costo en construcción, operación y mantenimiento, por lo que se recomienda su uso para aquellas instalaciones en que exista un área suficiente para ello, con este sistema se podrá no solo eliminar materia orgánica sino también organismos patógenos. El efluente de este tratamiento podrá ser reutilizado en la misma granja en el lavado de corrales y agricultura (forrajes), o vertido a cuerpos receptores sin correr riesgo de contaminación.

El presente trabajo pretende cubrir los posibles aspectos y problemas de diseño, arranque, operación y mantenimiento, que se pudieran presentar en granjas pequeñas no tecnificadas, las cuales forman un gran por ciento de las que se encuentran en el país y en muchos de los trabajos no son tomadas en cuenta, además de obtener cinéticas de degradación que se utilicen en el diseño de la planta de tratamiento para las granjas.

INTRODUCCIÓN

La actual actividad humana, ha determinado los elementos donde ella se sustenta y desarrolla, como son suelos, agua y atmósfera. Este desarrollo produce impactos que afectan los ecosistemas, encontrando hoy en día importantes desequilibrios en los mismos, en los que muchos de los casos son irreversibles.

La capacidad de amortiguamiento con que cuenta la tierra no ha sido suficiente en la mayoría de los casos para tolerar la gran cantidad de contaminación producida por el desarrollo de los países.

El agua es sin lugar a duda el principal recurso con que contamos los seres humanos, indispensable para vivir, constituye para las poblaciones un recurso insustituible, sin embargo no es solo importante la cantidad de agua que se suministre, sino también la calidad de la misma.

La contaminación de las aguas se origina al descargar altas concentraciones de cargas orgánicas y sólidos, que no puedan ser absorbidas o biodegradadas por los cuerpos receptores, contaminando de esta forma el agua superficial cercana a las ciudades, ocasionando, que el suministro de agua se realice cada día de lugares más lejanos o en otros casos explotando mantos acuíferos, terminando con las reservas existentes, aumentando con esto el costo de tratamiento para su reuso.

México cuenta con avances en el campo de tratamiento de aguas residuales, sin embargo estos no son aún suficientes para el creciente número de demandas de la población para el tratamiento de las mismas, actualmente solo se tratan un 40% de las aguas residuales generadas tanto en el municipio como en las industrias, por lo que aun se encuentra entre uno de los problemas de contaminación más importantes en nuestro país. (Trujano, 1995).

La industria porcícola produce en México 895 mil toneladas de carne de cerdo, se estima que un 46% se produce en forma tecnificada, un 20% semitecnificada y el 34% restante en pequeñas unidades familiares de traspatio. (Querétaro, 1997).

La industria porcícola se cuenta como una de las actividades altamente contaminantes que inciden fuertemente en los cuerpos de agua, esto se debe principalmente a las siguientes características:

- a) La concentración de miles de animales en un espacio reducido
- b) El desarrollo de una porcicultura especializada sin vínculos con la actividad agrícola.
- c) Sistemas de alimentación con elevados contenido de proteína que el aparato digestivo del cerdo no es capaz de asimilar.
- d) El ineficiente uso del agua en las granjas.

Según estudios realizados, las mayores concentraciones de cerdos se encuentran en regiones donde los recursos hidráulicos presentan serios problemas, como son la sobreexplotación de las aguas subterráneas, intrusión salina de los acuíferos costeros y contaminación del agua por las actividades agrícolas, industriales y urbanas.

Además de los problemas anteriores en encuestas realizadas por el Programa de Medio Ambiente del CMP, en 231 granjas, se encontró que el 38% descargaban a un cuerpo receptor propiedad de la nación, sólo el 15% lo hacía al alcantarillado y el resto, un 61% descargaba a terrenos propios, no garantizando con esto que no exista infiltración a los mantos acuíferos (CMP, 1997)

El estudio presentado se realizó en una granja con los efluentes porcícolas que pertenece al Centro Bachillerato Técnico Agropecuario #8, ubicado en Xoxocotla, Morelos.

La falta de tratamiento a escala media o pequeña en este tipo de granjas y por consiguiente de igual forma el interés de los poricultores en esta escala, dan como resultado que no se encuentren estudios de consulta en granjas no tecnificadas ni tratamiento realizado a las mismas.

En la literatura no se refleja estudio en plantas no tecnificadas. Los estudios que se han realizado al respecto hablan de granjas tecnificadas o semitecnificadas que cuentan con características muy diferentes a las granjas no tecnificadas.

Conjuntamente con lo anterior se encuentra la baja eficiencia en las plantas de tratamiento de efluentes porcícolas debido a malos manejos o mal diseño de las mismas, provocando con esto serios problemas en el medio ambiente, además de elevar los costos producidos por descargas que no cumplan con las normas establecidas. La industria porcícola no se escapa de este problema, teniendo que tomar medidas correctivas para poder alcanzar los parámetros establecidos por la NOM-001-ECOL-96.

CAPITULO I

PROCICULTURA

PORCICULTURA

La porcicultura es considerada una importante industria en el ámbito mundial, encontrando desde grandes y modernas granjas, hasta pequeños criaderos de traspatio. Dentro de los países industrializados se observa el trabajo intensivo que llevan porcultores y gobiernos, respecto al tratamiento de sus aguas y al manejo de los desechos. Sin embargo en los países en vías de desarrollo los esfuerzos realizados no son aún suficientes para resolver este problema.

A continuación se describirán algunos de los trabajos que se están realizando en varios países principalmente en granjas de gran tamaño:

1.1. PORCICULTURA EN EL MUNDO

Estudio realizado en Singapur Japón

El siguiente estudios presenta los resultados realizados en la ciudad de Singapur, Japón, para el tratamiento de efluentes porcolos en una granja que cuenta con las siguientes características: 25,000 cerdos, con un gasto medio de agua residual de 500 m³/d (30 l/s), y un flujo pico de 700 m³/d. El tratamiento utilizado incluye sedimentación primaria, laguna anaerobia y tratamiento de lodos el cual consta de un digester anaerobio. Los parámetros medidos de entrada y salida de cada fase se describen a continuación.

Tabla 1.1. Calidad de entrada y salida de la planta de Singapur

Parámetros mg/l	Influente	Efluente sedimentador	Efluente laguna anaerobia	Lodo laguna anaerobia	Efluente digester
DBO	10,200	4,200	1,520	-	710
COD	28,900	7,900	3,630	-	6930
SST	24,600	3,210	480	18,800	8,260
TKN	2,200	910	520	1,262	1,140
PH	6.8	6.8	7.6	7.9	7.4

El sedimentador primario tiene un TRH de 2-4 hrs, la laguna anaerobia un TRH de 40 días con reciclación continua y es operada con dos aereadores mecánicos que trabajan en forma continua obteniendo una DBO y COD de 1, 400 y 3, 600 mg/l respectivamente. Se realizaron pruebas con 10 aereadores mecánicos y se obtuvieron valores de DBO y el COD alrededor de 170 y 850 mg/l cada una de ellas.

El lodo extraído del sedimentador se trata en un digestor anaerobio el cual trabaja a una tasa de 3.0 Kg SVT/m³.d. y es operado con un TRH de 14 a 35 días. Se obtuvieron remociones de 47% de SVT fueron observadas. La temperatura del reactor se encuentra entre 29 a 38°C, y no se encontraron variaciones significativas por las misma. El gas producido por el reactor es de alrededor 0.35 m³/kg de SSV destruidos y es utilizado en la producción de energía para las necesidades requeridas dentro de la planta.

La inversión de construcción de la planta fue de \$ 5 millones de dólares, incluyendo todo el sistema y el costo del tratamiento es alto, alrededor de \$15 millones de dólares. (Kee, 1993)

Estudio realizado en Lisboa Codex, Portugal

En la ciudad de Lisboa Codex, Portugal, se realizó un estudio sobre el tratamiento a las aguas residuales de la industria porcícola en planta piloto para remover carbono y nitrógeno.

La granja produce cerca de 1200 cerdos, el efluente es colectado en dos receptores los cuales transportan los efluentes a la planta de tratamiento por gravedad. La planta consiste en un tamizado grueso, un separador rotatorio de sólidos, tanque de igualación, tanque de aeración y un clarificador cónico, el efluente del clarificador por último se lleva a 3 lagunas en serie y el efluente de las mismas se utiliza para el cultivo de frutas. Los sólidos de los lodos activados y del sedimentador se utilizan en composteo.

Se probaron diferentes tiempos de aeración intermitente, los resultados obtenidos demostraron que estos no tuvieron efectos significativos en un 60% de la reducción de los tiempos de aeración, de 20 horas por día a 12 horas por día. La reducción significativa de contenidos de nitrógeno y carbono del agua residual observadas durante el periodo de monitoreo fueron relativas a las altas tasas llevadas a cabo en la operación intermitente del reactor.

Los resultados obtenidos de la remoción de materia biodegradable fueron de 600 mg/l del residual de DQO soluble al final del efluente el cual difícilmente puede ser removido en un futuro por otro tipo de tratamientos, esto se debe a la producción microbial soluble la cual contiene una significativa proporción de altas moléculas poliméricas las cuales son resistentes a degradación.

El análisis de la calidad de lodos activados indican buena cantidad de oxígeno dentro del reactor y esto no afectó a los microorganismos filamentosos sobre la sedimentación de los floculos. Los resultados indicaron que el impacto causado por la descarga directa a los cuerpos receptores es 20 veces menos contaminante que si se descarga sin tratamiento alguno. (José, 1995).

1.2. PORCICULTURA EN MÉXICO

México ha sido y continúa siendo un importante productor de cerdos en escala mundial. Sin embargo, las granjas porcinas son una importante fuente de contaminación del agua porque las excretas de los cerdos se descargan en un 65% sin ningún tratamiento.

La porcicultura es una actividad tradicional fuertemente arraigada a los hábitos productivos y de consumo de los habitantes en nuestro país. Podemos encontrar desde la porcicultura rústica de traspatio, hasta grandes y modernos complejos porcícolas orientados, no solo al mercado local, sino también hacia otros estados y el exterior.

Por su composición físico-química, las excretas pueden considerarse desde un excelente abono capaz de proporcionar no sólo nutrientes esenciales sino también materia orgánica al suelo.

Tomando en cuenta que el vertido de los purines se realiza principalmente a cuerpos receptores, la estimación del riesgo se ha centrado en los problemas causados a organismos y ecosistemas acuáticos. Siendo los principales riesgos: disminución del oxígeno disuelto en el agua, aparición de metabolitos tóxicos como consecuencia del punto anterior y la eutroficación por el aporte de nutrientes y el vertido de compuestos tóxicos.

México en 1999 produjo entre un 80 y 95% de su consumo interno de carne de cerdo; para cubrir las necesidades actuales necesitará incrementar un 40% de su producción, que significa un incremento de la población porcina de 14 a 20 millones de cabezas. Una parte de este incremento tendrá que provenir de una mayor eficiencia en la producción y otra de la expansión de las granjas comerciales que tendrán que integrar el control de excretas con las instalaciones productivas.

El estiércol porcino es una excelente fuente de nitrógeno y fósforo con concentraciones de 3 a 4% de N y de 3 a 5 de PO. Los niveles disponibles de estos dos nutrientes son casi tan elevados como los de la gallinaza.

Tabla 1.2. Niveles de nutrientes disponibles en diferentes tipos de estiércol

ESTIÉRCOL	RANGO DE CONCENTRACIÓN			DOSIS DE ESTIÉRCOL*
	N*	P ₂ O ₅	K	%
Bovino	0.9-2.4	0.9-1.9	1.8-4.8	15 a 30 ton/Ha.
Porcino	3.3-4.0	3.5-5.0	1-5-4.0	4.0 a 8.0 ton/ha.
Gallinar	2.6-4.7	2.8-7.4	1.3-3.4	3.5 a 5.0 ton/ha

Fuente: (Pérez, 1994).

- * En todos los casos es estiércol seco, la cantidad baja en el rango se refiere a estiércol viejo y la cantidad alta a estiércol producido muy recientemente.
- * La dosis de aplicación para suplementar 100 kg se calcula considerando un factor de disponibilidad o de mineralización de nitrógeno en el primer año de aplicación.

Las dosis dependen de la cantidad que se desea suplementar de los nutrientes. Debido a que el estiércol porcino posee concentraciones equivalentes de N y P₂O₅ es mejor utilizarlos en primer instancia como fuente de fósforo y suplementar N para realizar un uso más racional de los mismos. Una dosis razonable de estiércol porcino va de 5 a 10 toneladas por hectárea. Dosis mayores de 15 a 20 toneladas por hectárea pudieran causar problemas en el cultivo.

Para diseño de sistemas de lagunas de tratamiento se recomienda hacer una regionalización del país.

- **Región I (Sur):** Estados de Yucatán y Quintana Roo, con clima tropical seco.
- **Región II (Bajo):** Estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Tlaxcala, Morelos, Estado de México y Puebla, los cuales también son secos pero con una temperatura media anual más baja debido a su altitud. (PICMEX)
- **Región III (Norte):** Estados que se encuentran al norte del paralelo 33° que presentan un clima árido.

El manejo de los desechos líquidos y sólidos de las granjas porcícolas radicadas en el país han realizado desde la nociva descarga directa, hasta los tratamientos más sofisticados: biodigestores, lagunas de alta tasa con producción de algas, diversos sistemas de separación mecánica, etc.

No obstante, algunos de los sistemas ya puestos en operación requieren de modificaciones para mejorar su desempeño y, en todos ellos, es necesario evaluar la calidad del agua para determinar su verdadera eficiencia.

Es una práctica común en algunos productores emplear la cerdaza para la alimentación de bovinos o como fertilizantes, y las aguas residuales para regar distintos tipos de zacafes.

Por lo general se sabe en una granja cuánto alimento se usa, cuánta medicina veterinaria se aplica y cuánta mano de obra se contrata, pero no cuánta agua se gasta. Sin embargo no se paga por el agua consumida en la granja, pero sí se paga por el agua descargada por la misma y el volumen del agua descargada está en función del volumen de agua consumida.

1.3. TRABAJOS Y PROBLEMAS DE LAS DIFERENTES REGIONES DEL PAÍS

1.3.1. *Region I (Sur)*

Península de Yucatán: En esta región donde la porcicultura es una actividad tradicional fuertemente arraigada a los hábitos productivos y de consumo de los habitantes, podemos encontrar desde la porcicultura rústica de traspatio, hasta granjas y modernos complejos porcícolas orientados, no sólo al mercado local, sino también hacia otros estados y el exterior.

De igual manera, en esta región se encuentra las más variadas formas de manejo de desechos: desde la nociva descarga directa, hasta los tratamientos más sofisticados: biodigestores, lagunas de alta tasa con producción de algas, diversos sistemas de separación mecánica, etc.

No obstante, algunos de los sistemas ya puestos en operación requieren de modificaciones para mejorar su desempeño y, en todos ellos, es necesario evaluar la calidad del agua para determinar su verdadera eficiencia.

Como en otros lugares, los productores están empleando cerdaza para la alimentación de bovinos y como fertilizante y las aguas residuales para regar distintos tipos de zacates. Sin embargo se considera que por el tipo de suelo que existe en la región (calcáreos altamente permeables) y por el tipo de manto frático el cual se encuentra muy próximo a la superficie -de 5 a 8 metros- es imprescindible que los productores cumplan con los lineamientos de las Normas regentes, además que el tratamiento de sus aguas no sea la excepción, sino la regla.

En el estado de Quintana Roo sólo se tiene información de las granjas que forman parte del Complejo Agroindustrial del Norte de Quintana Roo. Todas las granjas de este complejo tiene tratamiento de aguas residuales y todas tienen un programa de mejoramiento de dicho tratamiento (Pérez, 1996.)

Una de las alternativas que no hay que pasar por alto en esta región, es el tratamiento de aguas residuales y su posterior reciclaje para lavado de la granja. Esto reducirá el volumen de agua descargado a terrenos y su posible filtración.

Por tanto, existen razones irrefutables por las cuales debemos conocer el manejo de agua que hacemos en la granja:

1.3.2. Región II (El Bajío)

Los diversos problemas que ocasionan las descargas de las granjas porcinas localizadas en el Bajío, particularmente a lo largo de la Cuenca del río Lerma –una de las cuencas más contaminadas del país- han sido motivo de especial atención por parte de la autoridad.

En esta región, se caracteriza por su alta densidad de población y por su vocación agrícola, los productores han sido presionados de múltiples formas para formar medidas conducentes saneamiento de los cuerpos de agua y proteger la salud de los habitantes.

En los estados de Querétaro, Guanajuato y Michoacán, casi no existe granja porcícola que no esté cerca de un poblado, un dren, un arrollo o del mismo río y, desafortunadamente, casi no hay arroyos o drenes que no conduzcan aguas residuales de las granjas porcícolas.

En muchos casos, esta situación se presenta por falta de espacio en las granjas; sin embargo esto no es el pretexto, por lo tanto, la posibilidad de que grandes unidades que sólo tienen el espacio requerido para los fines productivos y administrativos puedan seguir operando, se basa en que hagan un uso mucho más racional del agua dentro de la misma granja y pongan en marcha un tratamiento eficiente de las descargas que incluya la reducción de olores.

1.3.3. Morelos

En Morelos existe gran número de granjas de traspatio, pero también granjas de gran tamaño. Debido a que en la mayoría del estado se cuenta con suficiente agua y no se han llevado a cabo revisiones por parte de CNA o de los departamentos gubernamentales encargados del caso, el tratamiento que se le da en la mayoría de los casos es nulo, sin embargo existe en algunas granjas separador de sólidos, representando un tratamiento mínimo y descargando un efluente de una calidad muy mala a cuerpos receptores o utilizada para agricultura.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

MARCO TEORICO

1.1. AGUAS RESIDUALES

Toda la comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos –aguas residuales- es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada.

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. (Metcalf, 1997).

La concentración de elementos contaminantes en las aguas residuales depende del origen de la descarga. Dentro de las principales características de las aguas residuales tenemos (Metcalf, 1997).

- Caudal y composición variables durante el día y los meses del año
- Fluctuación considerable de los valores y la diversidad de los contaminantes.
- Altas concentraciones de los contaminantes
- Presencia de contaminantes peligrosos y/o persistentes
- Características físicas
- Características químicas
- Características biológicas

2.1.1. Clasificación de las aguas residuales

- a. Agua residual doméstica: Son aquellas que se generan al satisfacer las necesidades de los habitantes de una vivienda.
- b. Aguas residuales agropecuarias: Son aquellas que provienen de actividades agrícolas o pecuarias
- c. Aguas residuales Industriales: Son aquellas que provienen de los procesos de extracción, beneficio, transformación o generación de bienes de consumo o de sus actividades complementarias.
- d. Aguas residuales urbanas o municipales: Son aquellas que resultan de la combinación de aguas residuales domésticas.

La caracterización de un agua residual consiste en determinar mediante una serie de pruebas de laboratorio, la concentración de los elementos o compuestos contaminantes presentes en muestras representativas del sistema.

2.1.2. Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua usada para la caracterización de las descargas tanto municipales como industriales indican el grado de contaminación de los efluentes procedentes de diferentes procesos de producción. El número y tipo de compuestos por determinar depende del origen de la descarga.

Para la caracterización de las aguas residuales industriales se usan los mismos parámetros utilizados para la caracterización tanto física, química y biológica de las aguas residuales municipales, adicionando la determinación de otros parámetros que indiquen la presencia de compuestos tóxicos presentes en mismas.

2.1.3. Tratabilidad de las aguas residuales

A través de los años se han desarrollado gran variedad de métodos para el tratamiento del agua residual. En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y el grado que se desea alcanzar. El principal objetivo del tratamiento del agua es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al ambiente (Noyola, 1997).

La industria no ha logrado frenar la contaminación que producen sus desechos líquidos y sólo hasta fechas recientes se ha despertado el interés para muchas de sus operaciones por el tratamiento de sus aguas residuales al detectar que el reuso resulta ser más atractivo que emplear agua de primer uso, de costo mayor y en algunos casos sumamente escasa. Los procesos unitarios que se utilizan se pueden clasificar según su naturaleza en procesos físicos, químicos y biológicos. (Vega, 1993).

1. Procesos físicos que dependen esencialmente de las propiedades físicas de las impurezas, como son: tamaño de partícula, peso específico, viscosidad, etc. Las unidades incluidas dentro de estos procesos son: el cribado, desmenuzado, mezclado, sedimentación, flotación, floculación, adsorción, desorción y ósmosis inversa.
2. Procesos químicos que dependen de las propiedades químicas de las impurezas o que utilizan las propiedades químicas de reactivos agregados. Sus unidades incluyen la neutralización, oxidación, desinfección, intercambio iónico y electrodiálisis.
3. Procesos biológicos que utilizan reacciones bioquímicas para eliminar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. En estos procesos la materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en las aguas residuales. Los procesos se dividen en aerobios y anaerobios dentro de las unidades se encuentran los lodos activados, lagunas, filtros percoladores, procesos de contacto, digestores (Noyola, 1997).

Para la selección de un sistema de tratamiento es esencial realizar la caracterización del agua residual a tratar como punto de partida y como punto final la calidad del agua requerida, cumplimiento de condiciones particulares de descarga (CPD) y/o cumplimiento de la Norma NOM-001-ECOL-96, para descarga a cuerpo receptor, alcantarillado ó reuso agrícola.

2.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

En general los procesos biológicos de aguas residuales de origen doméstico o industrial se realizan cuando la materia orgánica contenida en el agua residual es biodegradable, lo que permite explorar la capacidad de un sinnúmero de microorganismos para digerir compuestos orgánicos complejos y transformarlos en moléculas más sencillas.

De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo funciones vitales y la materia orgánica es transformada en nuevas células y otros productos que pueden ser más fácilmente separados del agua.

La principal división entre los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, se hace con base en la forma en que los microorganismos utilizan el oxígeno. Así se tienen los procesos aerobios (requieren oxígeno) y los anaerobios (ausencia total de oxígeno). Esto se traduce en sistemas muy diferentes entre sí, tanto en su microbiología, como en sus aplicaciones, su ingeniería y su control. (IMTA, 1998).

2.2.1. Tratamiento aerobio

La respiración, fuente principal de energía de las células aeróbicas, es la oxidación enzimática mediante oxígeno molecular de las moléculas disponibles como combustible. La descomposición de la materia orgánica por vía aerobia se divide en tres fases principales: La hidrólisis de las moléculas orgánicas complejas en sus respectivos monómeros, la descomposición de estos monómeros en intermediarios comunes y la final en la que se realiza el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, en donde el aceptor final de electrones es el oxígeno molecular.

Este proceso tiene la ventaja de general eficiencias altas de remoción de la materia orgánica, y aceptar cargas orgánicas variables.

Tabla 2.2.1. Sistemas utilizados en el tratamiento de aguas residuales

SISTEMAS AEROBIOS	Biomasa en suspensión	– laguna aerobia
		– lodos activados y sus modificaciones
	Biomasa fija	– Filtros biológicos (filtro percolador o filtro rociador)
		– Biodiscos

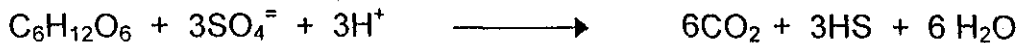
2.2.2. Tratamiento anaerobio

Se denomina digestión anaerobia al proceso de mineralización de la materia orgánica por un sistema microbiológico mixto en condiciones de ausencia de oxígeno (o fuertemente reductora). En los tratamientos anaerobios los compuestos oxidados son generalmente nitratos, sulfatos o CO₂, actuando como aceptores finales de electrones, de esta forma se tienen tres vías de degradación, que se representan con las siguientes reacciones globales:

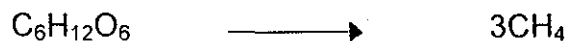
Desnitrificación (medio anóxico):



Sulfatoreducción:



Metanogénesis:



En los procesos anaerobios el 90% de la energía contenida en la materia orgánica (medida como demanda bioquímica de oxígeno, DBO), es convertida en biogás y el 10% restante es asimilado por las células. Desde el punto de vista bioquímico, la baja producción celular haría el proceso anaerobio poco eficiente; sin embargo, en la práctica esta característica es una gran ventaja dado que se evita la necesidad de tratar importantes volúmenes de la biomasa generada antes de su disposición final.

Para que la digestión anaerobia se realice adecuadamente, se debe permitir la óptima actividad de todos los grupos bacterianos involucrados con el fin de que las reacciones ocurran de manera secuenciada. Esto significa que el producto de las reacciones efectuadas por un grupo de bacterias, sirve como sustrato para el siguiente grupo especializado de tal forma que se mantiene un equilibrio entre las velocidades de formación y eliminación de intermediarios evitando así su acumulación. (Saval y Noyola, 1992)

La digestión anaerobia de un sustrato complejo como materia orgánica en suspensión involucra tres etapas que son:

- Hidrólisis: Las partículas de origen orgánico, en suspensión y algunos componentes poliméricos como las proteínas y los polisacáridos no pueden ser absorbidos por los microorganismos y son hidrolizados a monómeros solubles.
- Acidogénesis: Los compuestos orgánicos hidrolizados (monómeros) son fácilmente degradados a ácidos grasos (acético, propiónico, butírico, valérico) por la acción de un grupo de bacterias llamadas fermentativas que tienen a su cargo la acidogénesis y posteriormente a acetato de hidrógeno que es la segunda etapa de la fermentación, en la cual intervienen las bacterias acetogénicas y las productoras de hidrógeno.
- Metanogénesis: Es la última etapa en el proceso de la degradación anaerobia de la materia orgánica y es llevada a cabo por el grupo bacterias metanogénicas que producen metano el cual es una fuente de combustible con alto valor calorífico.

Tabla 1.2.2. Sistemas anaerobios

SISTEMAS ANAEROBIOS	Biomasa en suspensión	Fosa séptica
		Tanque Imhoff
		Laguna anaerobia
		Digestor convencional
		Digestor completamente mezclado
		Contacto anaerobio
	Biomasa fija	Filtro anaerobio
		Reactor tubular de película fija
		Reactor de lecho de lodos y flujo ascendente (UASB)
	Lecho expandido	Lecho expandido
		Lecho fluidificado
		Reactor de cama expandida de lodo granular (EGSB)

2.3. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización son el método más sencillo de tratamiento de aguas residuales existente. Consiste en excavaciones poco profundas rodeadas de taludes de tierra.

Las lagunas de estabilización constituyen una alternativa de tratamiento, con costos menores de operación y mantenimiento, y menores requerimientos de capacitación con respecto a las tecnologías convencionales. Una diferencia importante es que las lagunas de estabilización no utilizan equipos de aereación, ya que éste es producido de manera natural por las algas durante el proceso de fotosíntesis.

Estos sistemas encuentran aplicación cuando no se requiere una baja concentración de DBO en el efluente, ya que en las lagunas de estabilización por la producción de biomasa algal se incrementa la concentración de sólidos suspendidos y de DBO.

Sin embargo, de acuerdo con la OPS (1988) estos son los únicos sistemas de tratamiento que no requieren desinfección química, ya que la remoción de patógenos se realiza por mecanismos naturales. Adicionalmente, en las lagunas de estabilización se remueve nitrógeno y fósforo, lo que significaría un tratamiento complementario en otros sistemas.

El tratamiento utilizando lagunas de estabilización tiene 3 objetivos:

- Remover la materia orgánica de las aguas residuales que causa la contaminación
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud
- Utilizar su efluente para reuso, con otras finalidades, como la agricultura, piscicultura, etc. (Rolim, 1989).

Los principales factores que intervienen en el proceso de sistemas lagunares para obtener un agua de mejor calidad son: luz, temperatura de agua a tratar y temperatura ambiental, cantidad y calidad del agua del agua residual. Obviamente también son importantes los requerimientos del efluente, dependiendo del reuso que se da al agua tratada.

Las lagunas de estabilización constituyen un proceso de tratamiento que, si se les proporciona en forma adecuada la poca operación y conservación que demandan, tienen una eficiencia comparable a la de lodos activados, además de tener la ventaja de aceptar con facilidad sobrecargas hidráulicas y orgánicas.

La principal desventaja de las lagunas de estabilización es que requieren una extensión más grande de terreno en comparación con cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales.

2.3.1. Clasificación

Se siguen diversos criterios para la clasificación de la lagunas y son los siguientes:

- De acuerdo con su **contenido de oxígeno** pueden ser: anaerobias, facultativas y de maduración.
- En relación a la **secuencia de unidades** pueden ubicarse en serie o en paralelo.
- En función del lugar que ocupan en **relación con otros procesos**, se pueden agrupar en primarias o de aguas crudas, secundarias si reciben efluentes de otros procesos y de maduración si su propósito es disminuir el número de organismos patógenos.
- De acuerdo con las **condiciones de descarga** de las lagunas se pueden clasificar en: lagunas de descarga continua, lagunas de retención completa y lagunas de regulación y descarga controlada.
- De acuerdo con el tipo de flujo pueden ser intermitentes (batch) ó de flujo continuo. (IMTA, 1993).

El proceso de tratamiento es una combinación de sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacteria y algas así como de su propia reproducción, puede ser anaerobio, aerobia o una combinación de ambas.

En el caso de la digestión anaerobia las bacterias anaerobias producen biogas, una mezcla de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y una pequeña cantidad de ácido sulfhídrico (H_2S) e hidrógeno (H_2).

La degradación de la materia en las lagunas de estabilización se realiza bajo condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno) o bajo condiciones aerobias (presencia de oxígeno). Por lo que se clasifican como:

- Lagunas anaerobias (condiciones anaerobias).
- Lagunas facultativas (condiciones anaerobias en el fondo y aerobias hacia la superficie),
- Lagunas de maduración (condiciones estrictamente aerobias).

2.3.2. Lagunas anaerobias

La laguna anaerobia se caracteriza por la presencia de bacterias que no requieren oxígeno disuelto para la descomposición de materia orgánica. Este proceso se llama digestión anaerobia el cual ya fue descrito anteriormente.

Las lagunas anaerobias se distinguen por ser capaz recibir altas cargas orgánicas (usualmente $> 100 \text{ g DBO/m}^3 \text{ d}$, equivalente a $> 3000 \text{ kg/ha.d}$), con profundidades de 2 a 5 metros. Su principal función es la remoción de DBO. Su remoción se encuentra entre un 60-75% de la DBO dependiendo de las condiciones de diseño y manejo. Sus tiempos de retención son cortos. Las características físicas de estas lagunas son coloración gris o negro, con condiciones de carga adecuada presentan condiciones de fermentación de metano.

Dentro de sus ventajas se encuentran: bajos costos, debido al poco manejo y equipo necesario para su funcionamiento, tratamiento de desechos con altas concentraciones, manejo de una gran variedad de aguas residuales que sean biodegradables.

Entre las desventajas se encuentran: olores generados por cargas mayores a las diseñadas o presencia de influentes con sulfatos mayores a 500 mg/l . Sensibilidad a factores ambientales y operativos como temperatura variaciones bruscas de carga y pH, lo que puede producir periodos de baja eficiencia con un efluente de calidad baja. La formación de natas presenta un aspecto poco agradable y condiciones estéticas desfavorables. El efluente presenta alto contenido de materia orgánica y color, lo que hace necesario una siguiente fase de tratamiento. (Mendiola, 1995).

2.3.3. Laguna facultativa

Las lagunas facultativas son llamadas de esta forma debido a las condiciones anaerobias mantenidas en la parte inferior del estanque donde la materia orgánica es sedimentada y condiciones aerobias en la parte superior de la laguna.

El mecanismo característico de las lagunas facultativas ocurre en el estrato superior y corresponde a una simbiosis de bacterias aerobias y algas. Las bacterias heterotróficas descomponen la materia orgánica formando nitrógeno inorgánico, NH_3 , fosfatos, PO_4 , y dióxido de carbono, CO_2 . Las algas usan estos componentes, junto con la energía de la luz solar, para la fotosíntesis, liberando oxígeno al medio acuático. El oxígeno, a su vez, es asimilado por las bacterias, cerrando así el ciclo. El efluente de una laguna de estabilización contiene algas en suspensión y el exceso de los productos finales de descomposición bacteriana.

Su profundidad varía de 1 a 1.5 metros y áreas más grandes que las lagunas anaerobias en relación de 1:3. En ausencia de mezcla inducida por el viento, la población algal tiende a estratificarse en una capa angosta de aproximadamente 20 cm de espesor, durante las horas del día. Esta concentración de algas se mueve hacia arriba o hacia debajo de los primeros 50 cm superficiales como respuesta a los cambios de la intensidad de luz incidente y origina grandes fluctuaciones en la calidad del efluente (DBO y sólidos suspendidos) si su estructura de salida está dentro de esta zona. (IMTA, 1993).

Su color cuando se encuentran en condiciones adecuadas es verde oscuro. La materia orgánica contenida en los desechos es estabilizada, una parte se transforma células de algas y otra en productos inorgánicos finales que salen en el efluente.

Existe una alta concentración de distintas especies de microalgas en lagunas facultativas, principalmente las microalgas que tienen movilidad. Las algas producen oxígeno que es usado por las bacterias heterotróficas, las que producen gas carbónico que a su vez, es usado por las algas (Rolim, 1989).

El rango de temperatura en el que funcionan adecuadamente es de 5 a 35°C, pero se ha demostrado que el máximo crecimiento de algas en un rango de temperaturas de 25 a 30°C. Temperaturas mayores a 35°C se ha observado que inhiben la actividad algal totalmente. La concentración de algas de una laguna saludable depende de la carga y temperatura, siendo usual el rango de 500-2000 μg de clorofila a por litro.

2.3.4. Lagunas de maduración

Las lagunas de maduración reciben generalmente el efluente de las lagunas facultativas, son utilizadas principalmente para la eliminación de microorganismos patógenos debido principalmente por los rayos ultravioletas del sol, altos valores de pH, carencia de nutrientes, presencia de predadores y sedimentación debido a altos tiempos de retención.

El efluente de las lagunas de maduración presentará concentraciones significativas de DBO en forma algal, la cual se puede incorporar más fácilmente a los cuerpos receptores evitando en todo momento el saturamiento de nutrientes en los mismos.

2.4. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN

La selección del sitio para la construcción de una laguna debe tomar en cuenta principalmente los siguientes factores: capacidad de almacenamiento requerida, necesidades de elevación (presión), topografía, estudios de impacto ambiental, disponibilidad y costo del terreno geotécnica preliminar.

Los factores preponderantes para la selección del lugar ideal para su construcción son: topografía, disponibilidad del terreno y condiciones del suelo. El factor más importante es la topografía. Se debe seleccionar de preferencia que el afluente al sistema de lagunas llegue por gravedad.

Es indispensable hacer un estudio de mecánica de suelos. Actualmente muchas lagunas no funcionan por razones de alta permeabilidad, de modo que las aguas se infiltran en el subsuelo.

Antes de tomar la decisión de elegir un lugar, primero debe caracterizarse y clasificarse el suelo de cada uno de ellos con la finalidad de estimar su compresibilidad, permeabilidad, tenacidad y capacidad de carga. Esto permitirá seleccionar el mejor sitio (IMTA, 1993).

2.5. IMPERMEABILIZACIÓN DE LAGUNAS

Es necesario realizar un estudio cuidadoso para evaluar si una laguna debe impermeabilizarse. La decisión dependerá de la magnitud de las filtraciones previsibles, del tipo de líquido almacenado y de consideraciones económicas y ecológicas.

Si la permeabilidad del suelo es mayor que la máxima permisible, la laguna deberá ser impermeabilizada. Hay una gran variedad de material de cubiertas disponibles y los costos locales son los que dictan cuales podrían ser usados.

Como una guía general, los siguientes valores de K podrán ser comparados con los valores obtenidos en campo de los coeficientes de permeabilidad:

- $K > 10^{-6}$ m/s: El suelo es demasiado permeable y las lagunas deberán ser impermeabilizadas.
- $K > 10^{-7}$ m/s: Algunas infiltraciones pueden ocurrir pero no impedir el llenado de la laguna.
- $K > 10^{-8}$ m/s: Las lagunas sellarán naturalmente.
- $K > 10^{-9}$ m/s: No existe el riesgo de contaminación del acuífero. Sin embargo, si $K > 10^{-9}$ m/s pero el manto acuífero es usado para abastecimiento de agua potable, se requieren estudios geohidrológicos más detallados. (IMTA, 1993.)

2.5.1. Mecanismos de filtración

Las pérdidas de agua por infiltración hacia el subsuelo en condiciones de flujo establecido para almacenamiento superficial están regidas por las ecuaciones de flujo en medio porosos.

Existen tres mecanismos principales de filtración más comunes. En los tres casos se supone que la permeabilidad de los bordos es despreciable respecto a la del terreno natural sobre el que se desplanta:

- **El mecanismo I** se presenta cuando la posición del nivel freático puede considerarse como una condición de frontera fija del problema. El líquido se infiltra entonces en forma vertical descendente del almacenamiento al manto acuífero. Lo anterior ocurre cuando el manto acuífero tiene una posibilidad de descarga muy superior a las aportaciones por filtración del almacenamiento.
- **El mecanismo II** corresponde a suelos sensiblemente homogéneos en los cuales las filtraciones son suficientes para elevar la posición del nivel freático en el área del almacenamiento. En este caso, el flujo tiende a generarse exclusivamente debajo de los bordos perimetrales. El gasto por filtración es entonces proporcional a la longitud de los bordos y depende de los coeficientes de permeabilidad del suelo y de la diferencia entre el nivel del almacenamiento y el nivel freático inducido en la periferia del estanque.
- **El mecanismo III** se presenta cuando existe una capa continua prácticamente impermeable a determinada profundidad. Las condiciones de flujo del mecanismo II se modifica cuando existe una situación de este tipo, es común que se proponga la intersección de las filtraciones mediante una trinchera de material impermeable.

2.5.2. Técnicas de impermeabilización

Los productos y revestimientos para la impermeabilización de lagunas artificiales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Selladores naturales y tratamientos químicos
- b) Revestimiento rígidos
- c) Revestimientos flexibles

Es común que las lagunas requieran un revestimiento para controlar las pérdidas por filtración que, además de resultar costosas, pueden contaminar el área circundante o hacer fallar la instalación y poner en peligro propiedades cercanas o vidas humanas.

Es importante considerar que el revestimiento y el medio en el que se instala trabajan en conjunto; el mismo criterio debe seguirse para el caso del estudio de fallas, ya que la mayoría de los casos la falla del revestimiento es el resultado de una acción y no su causa.

2.5.2.1. Sellado natural y tratamientos químicos

El sellado natural ocurre por alguno de los mecanismos siguientes:

- 1) Taponamiento físico de los vacíos del suelo por sólidos sedimentados
- 2) Taponamiento químico de los vacíos del suelo por intercambio iónico
- 3) Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento microbiano en el fondo del estanque.

Existen productos químicos que se mezclan con el suelo con éxito muy variado para sellar lagunas. Se ha encontrado resultados en un suelo con un mínimo de 8% de arcilla y de 10% de limo. En otros casos se usan aditivos que se agregan al agua para reducir las filtraciones, estos son a base de polímeros los cuales aumentan la atracción iónica de las partículas del suelo hacia el agua, con lo que se incrementa el diámetro efectivo de las mismas y se reducen las dimensiones de los poros.

Las arcillas altamente expansivas tales como la bentonita, pueden reducir efectivamente la permeabilidad del suelo natural al humedecerse.

2.5.2.2. Revestimientos rígidos

Los revestimientos rígidos más comunes se hacen a base de concreto hidráulico, suelo-cemento y concreto asfáltico.

Los revestimientos flexibles más comunes son los siguientes

- Membranas sintéticas
- Membranas asfálticas
- Elementos prefabricados a base de asfalto
- Revestimiento a base de suelos compactados

Existen muchos tipos de membranas sintéticas, sin embargo, pueden clasificarse en dos grandes grupos: las fabricadas a base de plásticos y las hechas con elastómeros.

Las membranas plásticas y las elastoméricas son las más populares cuando se busca obtener una permeabilidad prácticamente nula. Se adquieren en grandes hojas que facilitan su instalación. Los productos sintéticos más conocidos son los siguientes:

- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Polietileno (PE)
- Polietileno clorinado (CPE)
- Hule butilo (EPT y EPDM)
- Policloropreno (neopreno)
- Polietileno clorosulfonatado (hypalon)
- Poliolefin elastizado (3110)

Otros materiales que se han usado son el polipropileno, el nylon y el hule natural.

La impermeabilización de una laguna es una técnica delicada que requiere la intervención de especialistas, entre los cuales es necesario que se encuentre un experto en geotecnia (Auvinet, 1998).

2.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

2.6.1. Factores ambientales

Viento:

En el caso de lagunas facultativas y de maduración el viento auxilia el movimiento de las algas principalmente aquellas especies que no cuentan con movimiento propio y que son considerados como grandes productores de oxígeno, como las algas verdes del género *Chorella*, además, permite que el agua residual y los microorganismos sean dispersados en toda la extensión de la laguna. Siempre que sea posible, las lagunas deben de ser construidas en un lugar donde la dirección de los vientos dominantes no sea en dirección a las zonas residenciales.

Temperatura:

La temperatura es uno de los factores de mayor importancia en el funcionamiento de las lagunas de estabilización. La constante cinética de primer orden de degradación del sustrato es una función de la temperatura en su rango de 5 a 35°C. (IMTA, 1993).

Radiación solar:

La intensidad de luz que produce mortalidad depende de la presencia de oxígeno y modifica considerablemente el pH. Esto se da principalmente en las lagunas facultativas y de maduración. El sol juega un papel muy importante en la remoción de bacterias, incrementa directamente la temperatura de la laguna e indirectamente provee la energía para la fotosíntesis de las algas.

Evaporación:

Depende principalmente de las condiciones climáticas locales, influyendo principalmente la temperatura, viento y grado de humedad del aire. La evaporación combinada con la infiltración a través de una laguna con fondo permeable, puede ocasionar la reducción del efluente y en ocasiones puede hacerlo nulo.

Las pérdidas de agua provocada por la evaporación, trae como consecuencia la concentración de sustancias contaminantes, aumentando también la salinidad del medio.

2.6.2. Factores físicos

Tiempo de retención:

Es el tiempo que necesita el influente para obtener las características requeridas en su diseño, se obtiene al dividir el volumen del líquido de la laguna entre el caudal, se reporta en días.

Tipos de flujo:

Este puede ser mezcla completa, flujo pistón y flujo disperso.

2.6.3. Factores químicos

Oxígeno disuelto:

Este parámetro es el mejor indicador de una operación satisfactoria de una laguna de estabilización facultativa o de maduración.

pH:

El pH de las lagunas facultativas y aerobias tienen cambios a través del día y en las diferentes capas de la masa líquida, prevaleciendo en la superficie valores más elevados.

Sustancias tóxicas:

Las lagunas anaerobias son tolerables a cierta cantidad de tóxicos, no así las lagunas facultativas y las aerobias. Estas sustancias pueden ser nocivas para los microorganismos llegando a provocar la inactividad biológica y la muerte de los mismos.

2.6.4. Factores microbiológicos

Nutrientes

Tanto las bacterias como las algas requieren de una fuente de nutrientes para crecer y multiplicarse. Varios elementos son necesarios aún en pequeñas cantidades, siendo indispensable la presencia en mayor cantidad de carbono, nitrógeno y fósforo.

Carga Orgánica:

La carga orgánica es la cantidad de materia orgánica contenida en el agua residual y puede ser expresada en términos de DBO.

2.6.5. Problemas más frecuentes de operación.

Existen un gran número de detalles que pueden afectar negativamente el funcionamiento de las lagunas, entre los más comunes se encuentran:

- a. En el llenado de las lagunas
- b. Desarrollo de vegetación enraizada dentro de las lagunas y sobre los bordes.
- c. Proliferación de plantas flotantes
- d. Producción de malos olores
- e. Variaciones en el color del agua
- f. Molestias causadas por mosquitos
- g. Proliferación de roedores
- h. Alta densidad de algas en el efluente

Los principales factores que se deben considerar en la instalación de un tratamiento basándose en lagunas de estabilización, son principalmente:

2.7. SELECCIÓN DEL LUGAR

Los factores a considerar en selección del lugar más adecuado para la construcción de la laguna de estabilización son: topografía, disponibilidad de terreno y condiciones del suelo. Se debe seleccionar de preferencia que el influente al sistema de lagunas de preferencia debe ser conducido por gravedad.

Es indispensable el estudio de mecánica de suelo, teniendo muy en cuenta la permeabilidad del mismo.

Si la permeabilidad del suelo es mayor que la máxima la laguna debe de ser permeabilizada, de otra manera se tendrían grandes pérdidas por filtración operando incorrectamente el sistema.

Para el diseño teórico de las lagunas de estabilización se requiere realizar una caracterización del agua a tratar, del área que se requiere para las lagunas depende de: la temperatura, la evaporación neta, el gasto, la DBO y el número de coliformes fecales. Estos son los cinco parámetros de diseño más importantes. Los huevos de helmintos son también importantes si el efluente final es utilizado en la agricultura o en acuicultura.

2.8. DISEÑO DE LAGUNAS

2.8.1. Lagunas anaerobias

Se diseñan sobre la base de la carga volumétrica de DBO, la cual está dada por:

$$\lambda_v = \frac{L_i Q_{med}}{V_a} \quad (1)$$

Donde:

$\lambda_v = \text{g/m}^3\text{d}$

$L_i = \text{DBO del influente, mg/l (g/m}^3\text{)}$

$V_a = \text{volumen de la laguna anaerobia, m}^3$

El valor permisible de diseño de λ_v se incrementa con la temperatura, pero existen muy pocos datos que permiten el desarrollo de una adecuada ecuación de diseño. Mara y Pearson (1986), presentan en la tabla r recomendaciones para su diseño las cuales se muestran en la tabla 1.8.1., pueden ser utilizadas para propósitos de diseño en México.

Estas recomendaciones están basadas en las de Meiring et al (1968) en las que la λ_v se ubica entre 100 y 400 $\text{g/m}^3\text{d}$, primordialmente con la finalidad de mantener condiciones anaerobias y posteriormente evitar la liberación de malos olores. Esto es apropiado para aguas residuales domésticas o municipales que contengan menos de 500 $\text{mg SO}_4^-/\text{l}$.

Tabla 2.8.1. Valores de diseño para cargas volumétricas permisibles y porcentajes de remoción de DBO a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Carga volumétrica g/m ³ d	Remoción DBO (%)
< 10	100	40
10-20	20T-100	2T + 20
>20	300	60*

T = Temperatura del aire en el mes más frío

* Valores más altos pueden utilizarse si la experiencia local indica que esto es apropiado.

Fuente: (Mara, 1993.)

El volumen de la laguna se calcula con la ecuación (2):

$$V_a = \frac{L_i Q}{\lambda_v} \quad (2)$$

El tiempo de retención hidráulica en la laguna (θ_a , d) está dado por:

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q} \quad (3)$$

a) Cálculo de la profundidad media de la laguna anaerobia

La profundidad media generalmente varía entre 2 y 4 m, el área está dada por la siguiente ecuación:

$$A_{an} = \frac{V_a}{Z} \quad (4)$$

Donde:

A_{an} = área superficial a la profundidad media, m²

V = volumen, m³

Z = profundidad media, m

Generalmente se utilizan relaciones largo/ancho (L/W) = 3

$$A_{an} = XW^2 \quad (5)$$

$$W = \sqrt{\frac{A_{an}}{X}} \quad (6)$$

Donde:

L = Longitud, m

X = relación largo/ancho, adimensional

Por los TRH que se manejan en la laguna anaerobia se considera despreciable la remoción de coliformes fecales en lagunas anaerobias.

2.8.2. Lagunas facultativas

Se diseñan bajo la base de carga superficial (λ_s , kg/ha d), la cual está dada por:

$$\lambda_s = \frac{10L_i Q_{med}}{A_f} \quad (7)$$

Donde:

A_f = área a la profundidad media de la laguna facultativa, m²

Hay diferentes ecuaciones para calcular la λ_s , en las que se ha visto que λ_s se incrementa con la temperatura. La primera relación entre λ_s y T es aquella dada por McGarry and Pescod (1970), pero su valor de λ_s es el máximo que puede ser aplicado a una laguna facultativa antes de que decaiga (esto es, se convierte en anaerobia). Su relación, la cual es por consiguiente una "curva de decaimiento", está dada por:

$$\lambda_s = 60 (1.099)^T \quad (8)$$

La ecuación más aplicada a las condiciones de México, que debe usarse como valor de diseño (en kg/ha d):

$$\lambda_s = 250 (1.085)^{T-20} \quad (9)$$

Donde:

T = temperatura del aire, °C.



Una vez que un valor adecuado de λ_s ha sido seleccionado, el área de la laguna es calculada por la ecuación (5) y su tiempo de residencia hidráulica (θ_f , d) de la siguiente:

$$\theta_f = \frac{A_f Z}{Q_{med}} \quad (10)$$

Donde: Z = profundidad media de la laguna, m
 Q_{med} = gasto medio, m^3/d

El gasto medio es la media de los gastos del influente y el efluente (Q_i y Q_e) menos evaporación y filtración, Si la infiltración es despreciable, la ecuación anterior se transforma a:

$$Q_f = \frac{2(A_f Z)}{Q_i + Q_e} \quad (11)$$

Dado que $Q_e = Q_i - 0.001A_f e$ (donde e es la tasa de evaporación, mm/d) la ecuación (11) se transforma en:

$$Q_f = \frac{2A_f Z}{2Q_i - 0.001A_f e} \quad (12)$$

Asumiendo una relación largo/ancho (X) entre 3 y 8 y calculando el ancho de la laguna y después el largo de la misma. Yáñez (1992), asume que las relaciones largo/ancho menores de 8 no son recomendables ya que los reactores a flujo pistón son muy sensibles a cargas pico y tienen un considerable tiempo de retención.

$$W = \sqrt{\frac{A_f}{X}} \quad (13)$$

$$L = WX \quad (14)$$

Donde: L = largo de la laguna en dirección del flujo, m
 W = ancho de la laguna, m
 A_f = área de la laguna facultativa a la profundidad media, m^2
 X = relación largo/ancho = L/w , adimensional

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La remoción de DBO en lagunas facultativas primarias es generalmente del 70 al 80% basada en muestras no filtradas (esto es, incluyendo la DBO ejercida por las algas), y arriba del 90% basado en muestras filtradas.

Las lagunas facultativas secundarias la remoción es menor, pero el funcionamiento combinado de lagunas anaerobias y lagunas facultativas secundarias generalmente se aproxima a la asegurada por las lagunas facultativas primarias.

Para calcular la remoción de DBO₅ soluble, utilice la siguiente correlación de (Yañez, 1988).

$$\square_{Sr} = 0.765\square_s - 0.8 \quad (15)$$

Donde: \square_s = carga superficial removida, kg DBO₅/ha/d.

Por lo que la DBO₅ soluble en el efluente esta dada por la siguiente ecuación:

$$DBO_{5\text{ soluble}} = \frac{(\lambda_s - \lambda_{sr})}{A_f} \quad (16)$$

2.8.3. Lagunas de maduración

Coliformes fecales

Los métodos de diseño más utilizados en cuanto a remoción de coliformes fecales, son el de Marais (1974) y el de Yañez (1986). El primero supone mezcla completa y el segundo flujo disperso.

1.8.3.1. Método de Marais

Es generalmente utilizado para diseñar lagunas en serie para remover coliformes fecales. Este asume que la remoción de coliformes fecales puede ser modelada por una ecuación de cinética de primer orden en un reactor mezcla completa:

La ecuación resultante para una sola laguna es la siguiente:

$$N_\theta = \frac{N_i}{1 + K_1 \theta} \quad (17)$$

Donde:

N_e = número de coliformes fecales por cada 100 ml en el efluente

N_i = número de coliformes fecales por cada 100 ml en el influente

k_t = constante de primer orden para remoción de coliformes fecales d^{-1}

θ = tiempo de residencia hidráulica, d

Para lagunas anaerobias, facultativas y de maduración en serie, la ecuación (17) se convierte a:

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + K_t \theta_a)(1 + K_t \theta_f)(1 + K_t \theta_m)^n} \quad (18)$$

Donde: a, f y m = lagunas anaerobias, facultativas y de maduración;

N = número de lagunas de maduración.

El valor de k_t altamente dependiente de la temperatura, Marais (1974) encontró que:

$$k_t = 2.6(1.19)^{T-20} \quad (19)$$

De esta manera k_t cambia 19% por cada aumento de $1^\circ C$ en la temperatura (Tabla 6).

Tabla 2.8.2. Valores de la constante de primer orden para remoción de coliformes fecales a varias temperaturas.

T(°C)	KT (d ⁻¹)	T(°C)	KT (d ⁻¹)
11	0.54	21	3.09
12	0.65	22	3.68
13	0.77	23	4.38
14	0.92	24	5.21
15	1.09	25	6.2
16	1.30	26	7.28
17	1.54	27	8.78
18	1.84	28	10.46
19	2.18	29	12.44
20	2.60	30	14.81

La mejor aproximación para resolver la ecuación (a) es calcular los valores de θ_m correspondientes a $n = 2, 3, 3$, etc., y entonces adoptar las siguientes reglas para seleccionar la combinación más apropiada de θ_m y n :

$$\nabla \text{ no mayor que} \quad (a) \quad \theta_m \nabla \theta_f \quad (20)$$

$$\nless \text{ no menor que} \quad (b) \quad \theta_m \nless \theta_m^{\min} \quad (21)$$

Donde θ_m^{\min} es el tiempo mínimo de residencia hidráulica aceptable en una laguna de maduración. Esto se introduce para minimizar los cortocircuitos hidráulicos para lo que Marais (1974) recomienda un valor de 3 días.

En el Manual (1994) la carga máxima permisible de DBO sobre la primera laguna de maduración se toma como el 75% del de la laguna facultativa precedente. No es necesario verificar las cargas de DBO sobre las lagunas de maduración subsecuentes dado que la contribución no algal de ellas es muy baja.

La carga sobre la primera laguna de maduración (m_1) se calcula asumiendo que el 70% de la DBO se removió de la(s) precedente(s). De esta manera:

$$\lambda_{s(m1)} = \frac{10(0.3L_i)Q}{A_{m1}} \quad (22)$$

O dado que $Q\theta_m < A_{m1}Z$

$$\lambda_{s(m1)} = \frac{10(0.3L_i)Z}{\theta_{m1}} \quad (23)$$

El área de la laguna de maduración a la profundidad media se calcula con la siguiente ecuación.

$$A_m = \frac{2Q\theta_{m1}}{2Z + 0.001e\theta_m} \quad (24)$$

2.8.3.2. Método de Yáñez

Incorpora la dispersión hidráulica y se puede utilizar para cualquier tipo de proceso constante de decaimiento se pueden calcular en batch.

a) Dimensionamiento para lagunas facultativas.

La carga superficial máxima que puede soportar una laguna facultativa está dada por la siguiente ecuación (Yáñez, 1980):

$$\lambda_{Smax} = 357.4 (1.085)^{T_{agua}-20} \quad (25)$$

Donde: T_{agua} = temperatura del agua, °C

λ_{Smax} = carga orgánica superficial máxima, kg DBO₅/ha/d

Si no se cuenta con datos de temperatura del agua, se puede utilizar la siguiente expresión que utiliza la temperatura del aire:

$$\lambda_{Smax} = 400.6 * 1.0993^{T-20} \quad (26)$$

para el cálculo de la carga superficial (λ_s) utilizar la ecuación (22).

El área de la laguna facultativa está dada por:

$$A_f = \frac{L_t Q_{med}}{\lambda_s} \quad (27)$$

El Tiempo de residencia hidráulico se obtiene por:

$$\theta = \frac{V}{Q_{med}} \quad (29)$$

El número de dispersión hidráulica aproximado (d) puede ser utilizando las relaciones largo/ancho (x), de esta manera:

$$d = \frac{X}{-0.26118 + 0.2539X + 1.01360X^2} \quad (30)$$

El largo y ancho de la laguna se obtiene utilizando las ecuaciones (13) Y (14).

La K_b para lagunas facultativas varía de 0.8 a 1.6 d^{-1} a 20 °C. La corrección por temperatura de la constante de mortalidad neta se efectúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_t = K_{b20} \times 1.07^{T-20} \quad (31)$$

Yañez (1984), utilizando una K_b a 20°C de 0.841 por lo que la ecuación anterior queda como:

$$K_{bfac} = 0.841 \times 1.07^{T-20} \quad (32)$$

Con los valores de dispersión (d), K_{bfac} y θ , se calcula el término a , de la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{1 + 4K_{bfac}\theta d} \quad (33)$$

Se sustituye el valor de a , en la siguiente ecuación y se determinan los coliformes fecales a la salida de la laguna facultativa:

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{4ae^{(1-a/2d)}}{(1-a)^2} \quad (34)$$

b) Dimensionamiento para lagunas de maduración

Se dimensionan para alcanzar el porcentaje de remoción bacteriana remanente. Para el efecto se usa el modelo de flujo disperso en cálculos por aproximaciones sucesivas, considerando que el ancho de la laguna de maduración es el mismo que el de la laguna facultativa.

En primer lugar, determinar el porcentaje de remoción remanente.

$$\eta = \frac{100N_e}{N_i} \quad (35)$$

Donde: η = remoción remanente, por ciento.

La dispersión se calcula de la misma forma que para la laguna facultativa. Para obtener la constante de decaimiento de coliformes fecales en lagunas de maduración se utiliza la siguiente expresión:

$$K_{bmad} = 0.841 \times 1.07^{T-20} \quad (36)$$

Por aproximaciones sucesivas se obtiene el valor de coliformes fecales en el efluente final, utilizando la ecuación (34). Para ello se varía los valores para el factor $K_{bmax} \theta$ hasta que la diferencia entre el valor de N_p y el porcentaje de remoción remanente sea menor al valor del error asumido.

El tiempo de residencia hidráulico se calcula utilizando el factor $K_{bmad} \theta$ con el que se obtuvo la menor diferencia para el error asumido.

$$\theta = \frac{K_{bmad} \theta}{K_{bmad}} \quad (37)$$

El área de la laguna de maduración se obtiene de la siguiente manera:

$$A_{mad} = \frac{Q_{mad} \theta}{Z} \quad (38)$$

Donde: A_{mad} = área superficial de la laguna de maduración, m^2

El largo y el ancho de la laguna de maduración se calculan utilizando las ecuaciones anteriores.

Remoción de DBO

Las lagunas de maduración no son normalmente diseñadas para remoción de DBO, aunque es necesario estimar la DBO del efluente final. La remoción de DBO en lagunas de maduración es mucho menor que en lagunas anaerobias y facultativas, por lo que es apropiado estimar la DBO filtrada del efluente final, asumiendo que el 90% de la remoción acumulada se realiza en las lagunas anaerobias y facultativas y que el 25% se realiza en cada laguna de maduración.

2.9. DETERMINACIÓN DE CONSTANTES CINÉTICAS BAJO EL MODELO DE FLUJO DISPERSO (ECUACIÓN DE THIRUMURTHI).

La constante de decaimiento de coliformes puede determinarse por los patrones de flujo hidráulico: mezcla completa, flujo pistón y flujo disperso. Mientras que los dos primeros describen las condiciones de flujo ideal, el último describe las condiciones de flujo no ideal. Thirumurthy y otros autores como Uhlmann (1983), Polprasert y Bhattarai (1985), son de la idea de que el modelo de flujo disperso es el que mejor describe el régimen hidráulico en una laguna de estabilización.

Debido a lo anterior las constantes serán obtenidas por el método de flujo disperso de Thirumurthy. Esta metodología es aplicable para la determinación de constantes cinéticas en lagunas facultativas y de maduración.

La base matemática del modelo parte de un balance de masa del contaminante, alrededor de un volumen infinitésimo $-dv-$ para un reactor tipo pistón y teniendo en cuenta los dos fenómenos de transporte de masa, y se representa de la siguiente forma:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D \frac{\delta^2 C}{\delta X^2} - U \frac{\delta C}{\delta X} - K.C \quad (39)$$

Donde:

C = concentración del contaminante, mg/l

X = coordenada en la dirección del flujo, m

U = velocidad longitudinal promedio del reactor, m/día

D = coeficiente de dispersión, longitudinal o axial, m²/día

t = tiempo, días

La solución de ésta ecuación, en equilibrio continuo y/o la alimentación del contaminante en equilibrio discontinuo, es útil para caracterizar el grado de mezclado y el valor de la dispersión, bajo condiciones llamadas cerradas-cerradas y de acuerdo a las condiciones de continuidad en la entrada y salida; permitiendo así, ubicar el submodelo hidráulico entre los límites de mezcla completa y el de flujo pistón. De esta manera se obtiene:

Constantes de decaimiento de carga orgánica (K)

$$\frac{C}{C_0} = \frac{2e^{\left[\frac{z}{2d}\right]} \left[1+a\right] e^{\left[\frac{a}{2d}(1-Z)\right]} - (1-a) e^{\left[\frac{a}{2d}(1-Z)\right]}}{(1+a)^2 e^{\left[\frac{a}{2d}\right]} - (1-a)^2 e^{\left[\frac{a}{2d}\right]}} \quad (40)$$

Donde:

C_0 y C = concentraciones de influente-efluente en mg/l.

X y L = son la distancia desde la entrada y la longitud entre la entrada y la salida en m

Z = distancia adimensional en la dirección del flujo (X/L)

t = tiempo de residencia teórico en días

d = factor de dispersión = $D/UL = Dt/L^2$

a = constante adimensional,

la constante a esta definida por la siguiente relación:

$$a = \sqrt{1 + 4Ktd} \quad (41)$$

la ecuación anterior se puede simplificar con las condiciones de $X=L$ de $Z=1$ resultando:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{4ae^{(1/2d)}}{(1+a)^2 e^{\left[\frac{a}{2d}\right]} - (1-a)^2 e^{(-a/2d)}} \quad (42)$$

Una simplificación de esta ecuación para valores del coeficiente de dispersión (d) menores de uno:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{4ae^{[(1-a)/d]}}{(1-a)^2} \quad (43)$$

Constante de decaimiento bacteriano (K_b).

$$a = \sqrt{1 + 4k_b td} \quad (44)$$

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{2e^{\left[\frac{z}{2d}\right]} \left[(1+a)e^{\left[\frac{a}{2d}(1-Z)\right]} - (1-a)e^{\left[\frac{a}{2d}(1-Z)\right]} \right]}{(1+a)^2 e^{\left[\frac{a}{2d}\right]} - (1-a)^2 e^{\left[\frac{a}{2d}\right]}} \quad (45)$$

Donde:

N_e = Número de coliformes en el efluente (NMP/100 ml)

N_o = Número de coliformes en el influente (NMP/100 ml)

a = Constante adimensional

e = 2.71828182845 base de los logaritmos naturales

d = Número de Dispersión (adimensional)

K_b = Constante cinética de remoción de coliformes fecales en (días^{-1})

T = Tiempo de retención hidráulico (días^{-1})

La constante (d) se determina a partir de los resultados de pruebas de dispersión o trazadores en la laguna a evaluar ó mediante el uso de ecuaciones empíricas como la obtenida por (Yañez, 1982), que relaciona el largo y ancho de la laguna con la ecuación (13).

CAPITULO III METODOLOGIA

METODOLOGIA

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales del lavado de los cerdos dentro de las instalaciones del Centro Bachillerato Técnico Agropecuario #8, por sus características se considera del tipo industrial, se estima que genera un gasto medio de 5 m³/d, utilizando solo para el estudio 0.2 m³/d.

Los cerdos utilizados para el lavado fueron los mismos desde el principio del proyecto, se utilizaron las excretas de cinco cerdas descritas como vientres.

Las cerdas vientre son hembras maduras sexualmente que pesan alrededor de 180 kg. Una vez que quedan preñadas o cargadas se les pone en corrales donde permanecen por tres meses, tres semanas y tres días para parir una camada de lechones. El alimento de estas hembras gestantes o hembras secas según sea el caso es de 2 Kg de alimento por día por hembra. La cantidad de agua requerida para beber es de aproximadamente 30 l/d, mucha de la cual se pierde por el mal funcionamiento de distribución de la misma. (Foto 1, Anexo 1).

3.2. SELECCIÓN DEL SITIO

El lugar para la instalación de la planta piloto fue considerado por la accesibilidad del terreno y al apoyo brindado por el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 8. La escuela contaba con las condiciones necesarias para su instalación, como son terrenos y cerdos. Las descargas se vertieron en un canal de concreto. Se contó con el apoyo del personal de servicio social de la misma escuela.

3.3. UBICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO

El estado de Morelos está situado geográficamente en la parte centro sur de la República Mexicana. Cuenta con 4958 km² de extensión territorial. Sus coordenadas geográficas extremas son: norte 19° 08'; al sur 18° 20' de latitud norte; al este 98° 37' y al oeste 99° 30' de longitud oeste.

Su altitud se escalona en orden descendente entre 5400 metros en el cráter del Popocatepeth, hasta 850 metros en la región de Huautla, en los límites con el estado de Guerrero.

La planta piloto se encuentra ubicada en el Municipio de Jojutla, con una altitud de 1010 msnm. Su clima es cálido, teniendo una temperatura media anual de 22 a 24°C y no presenta heladas. (Mecazaga, 1997).

Se ubica en el Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario #8, en Chiverias, Morelos, carretera Alpuyeca-Jojutla, Km. 8. Xoxocotla, Mor.

El sitio presenta las siguientes características:

- * Temperatura medio anual de 23.2°C
- * Evaporación promedio anual de 6.7 mm
- * Precipitación de 890 mm

Características Geográficas:

Latitud	99° 4'
Longitud	18° 7'
Altitud	1010 msnm.

3.4. PRUEBA DE PERMEABILIDAD DEL SUELO

Se realizó una prueba de permeabilidad de suelos con carga constante para conocer las condiciones de permeabilidad (K). Los resultados obtenidos se describen en el reporte 3.4.1. La preservación de la muestra tomada para la obtención de los resultados de permeabilidad del suelo se observa en la foto 1, Anexo 1. El análisis se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, obteniendo resultados de permeabilidad de $1.1683E^{-5}$ m/s. Comparando el resultado obtenido con los del Manual de Tratamiento (lagunas de estabilización) del IMTA, se recomienda lo siguiente:

La constante de permeabilización obtenida es de $K > 10^{-6}$ m/s, lo que indica que el suelo es demasiado permeable y las lagunas deberán ser impermeabilizadas.

Se utilizó para la impermeabilización material de cloruro de polivinilo (PVC) obteniendo muy buenos resultados en la permeabilización de las lagunas.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

3.5.1. *Tren de tratamiento de la planta piloto*

La planta piloto cuenta con el siguiente tren de tratamiento en serie:

- Tanque de recepción, que sirve también como tanque sedimentador y como tanque homogenizador.
- Laguna anaerobia.
- Laguna facultativa.
- Primera laguna aerobia
- Segunda laguna aerobia
- Tercera laguna aerobia

El sistema completo de la planta piloto se presenta esquemáticamente en la lámina 3.5.1. Ver foto 2 (Anexo 1).

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

REPORTE 2.4.1. DE PRUEBA DE PERMEABILIDAD DE SUELOS CON CARGA CONSTANTE

Obra: CBTA No.8
Sondeo: Único
Muestra: Única
Profundidad, (m): 0.60
Laboratorista: I R. Patricio
Supervisó: Bonola
Fecha: 28/10/99

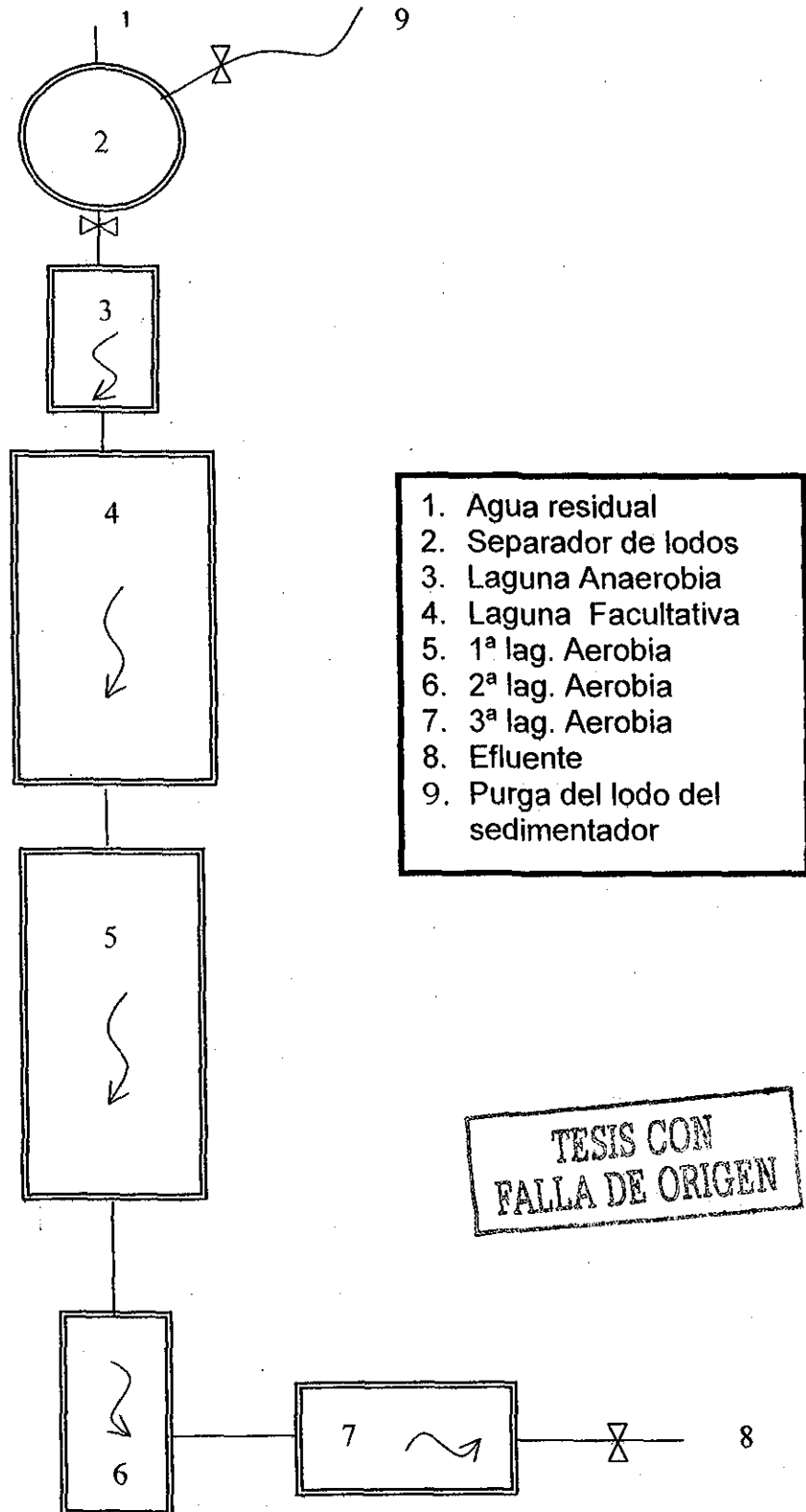
DATOS CORRESPONDIENTES A LA MUESTRA

Diámetro de la muestra, n (D):	0.0681	Peso de la muestra, W (gr):	761.62
Longitud de la muestra, m (L):	0.1295	Peso seco, W _s (gr):	592.59
Área de la muestra, m ² (A):	0.00364	Peso del agua, W _w (gr):	169.03
Volumen de la muestra, m ³ (V)	0.00047	Peso volumétrico de la muestra, gr/cm ³ :	1.6115
Temperatura del agua, °C (T):	23.0	Presión de confinamiento, Kpa:	10.0
		Contenido de agua, w(%):	28.52

Tiempo (seg)	Bureta superior			Bureta Inferior			Gradiente de Presiones (m de H2O)	Presión de confinamiento (kPa)	Volumen de flujo (m3)	Permeabilidad K (m/seg)
	Presion (kPa)	Lec. inicial (cm3)	Lec. final (cm3)	Presión (kPa)	Lec. inicial	Lec. final				
30.37	178.00	18.00	14.00	182.00	5.50	9.60	0.4080	10.00	4.05E-06	1.16284E-05
20.31	178.00	19.056	15.25	184.00	5.50	9.50	0.6020	10.00	3.90E-06	1.13482E-05
15.41	178.00	17.05	12.40	187.00	450	945	0.9180	10.00	4.80E-06	1.20716E-05
Promedio de K										1.1683E-5

Observaciones: La prueba se realizó con equipo ELE-Triflex y con base en la norma ASTM D5084 - 90.

Lámina 3.5.1. Diagrama de flujo de la planta piloto



3.5.2. Puntos de muestreo.

Los puntos de muestreo escogidos fueron de acuerdo a la representatividad de todo el sistema. En la lámina 3.5.2. se muestra la localización de los mismos.

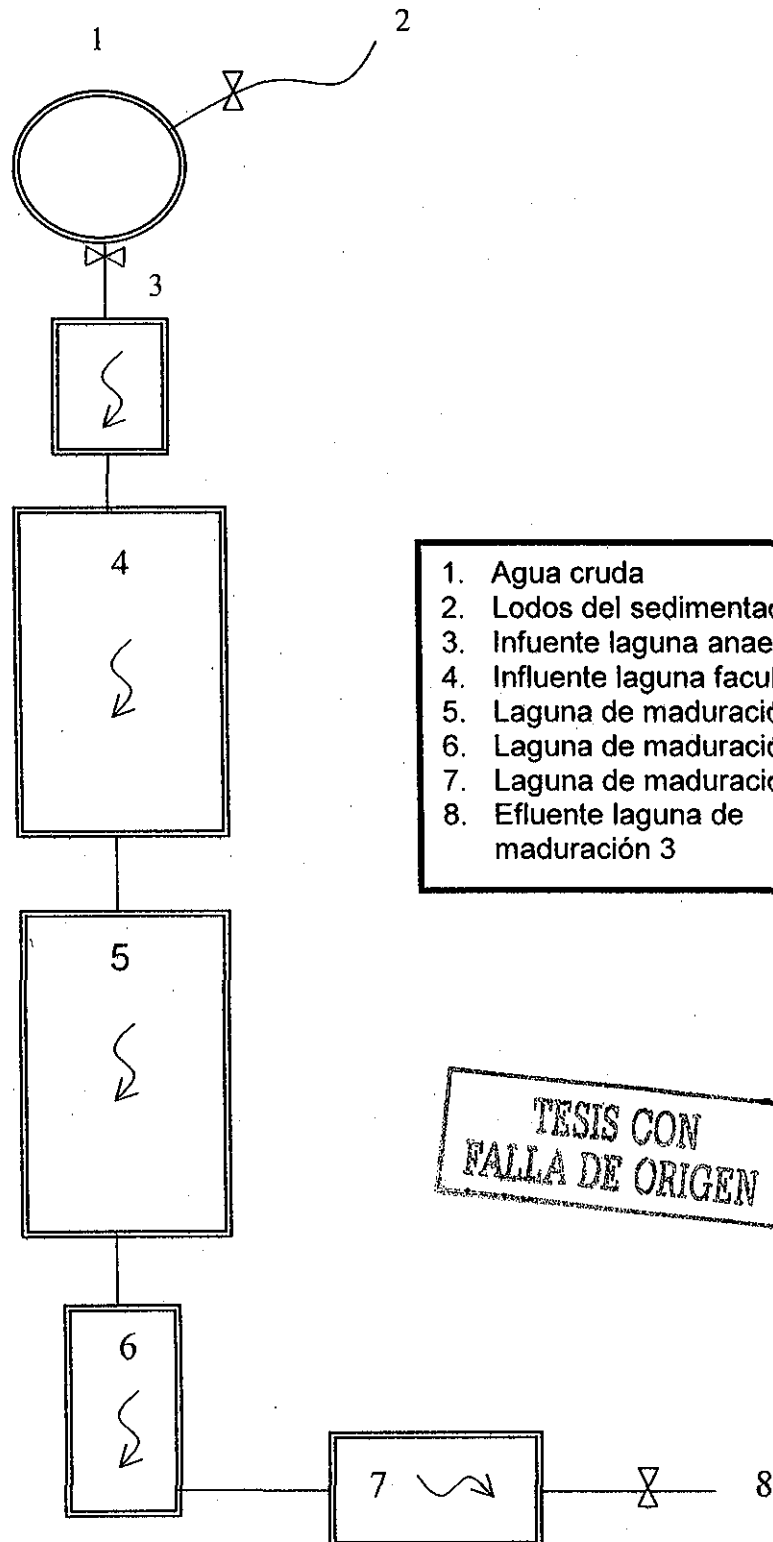
1. Agua cruda
2. Lodos del sedimentador
3. Influyente laguna anaerobia
4. Influyente laguna facultativa
5. Laguna de maduración 1
6. Laguna de maduración 2
7. Laguna de maduración 3
1. Influyente laguna de maduración 3

3.6. PARÁMETROS DE MUESTREO.

3.6.1. Criterios de selección de parámetros

Se determinaron DQO, coliformes fecales, SST y SSV. En campo se realizaron los parámetros de: flujo, pH, temperatura ambiente, temperatura del agua, nubosidad, oxígeno disuelto y profundidad de lodos. La DBO_5 se calculó mediante relaciones DBO/DQO , obtenidas de todos los puntos monitoreados. En la tabla 3.6.1. se describen los parámetros en el sistema medido.

Lámina 3.5.2. Ubicación de puntos de muestreo en la planta piloto.



3.6.2. Frecuencias de muestreo

Se realizó un muestreo de 24 horas, durante 3 semanas, tomando una muestra simple diariamente, esto fue en función de la capacidad del laboratorio. Se tomaron 14 muestras en total por cada uno de los puntos, a excepción del agua cruda a la cual se le realizaron solamente 3 muestras. En la tabla 3.6.1. se presentan los parámetros medidos en el sistema.

Tabla 3.6.1. Parámetros medidos en el sistema.

Parámetro	Sitio de muestreo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	Campo	Campo	Campo	-	-	-	-	Campo
pH	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Temperatura ambiente	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Temperatura del agua	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Nubosidad	Campo							
Profundidad de lodos	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo	Campo
Alcalinidad total	S	S	S	S	S	S	S	S
DQO total	SU	S	S	S	S	S	S	S
DBO total	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU
Coliformes fecales	SU	S	S	S	S	S	S	S
Sólidos totales	SU	S	S	S	S	S	S	S
Sólidos suspendidos volátiles.	SU	S	S	S	S	S	S	S
Oxígeno disuelto	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU

Simbología:

Campo determinación de campo

1, ..., 8 Sitio de muestreo

SU Muestra única.

S Muestra simple

3.6.3. Toma de Muestra, preservación y método de análisis.

3.6.3.1. Parámetros fisicoquímicos

La toma de muestra para análisis fisicoquímicos fue realizada considerando las recomendaciones que señala APHA, AWWA, APCF, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18 ed.

Las muestras se recolectaron en recipientes de plástico de un litro y se conservaron en hielo picado para su preservación y transporte.

- Los parámetros de campo se determinaron al momento de tomar la muestra.
- El gasto se midió con el método volumétrico, el cual se utiliza para caudales pequeños.
- El pH se tomó con papel indicador, unidades de 1-14 y más tarde en laboratorio con potenciómetro.
- La temperatura con un termómetro de -30 a 50°C.
- El oxígeno disuelto se midió con un oxímetro de la marca YSI.
- La profundidad de los lodos con un palo de madera y una tela blanca enredada en él.
- La nubosidad se midió por observación personal de las nubes al momento de la toma de muestra.
- Sólidos suspendidos y sólidos totales. Se determinó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-74.
- La demanda química de oxígeno (DQO), se determinó por el método espectrofotométrico. Standard Methods, 19 ed.
- La alcalinidad por el método potenciométrico, de la Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-36, 1980.
- Las grasas y aceites (método de extracción soxhlet), de la Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-005, 1980.
- La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), se determinó utilizando el método por incubación de diluciones en 5 días. Standard Methods, 20^a ed. (5210-B).
- El nitrógeno total (Kjeldahl), se determinó utilizando el método de la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-026, 1980.

3.6.3.2. Parámetros microbiológicos.

- La toma de muestra para los análisis de coliformes fecales, se hizo según la técnica establecida por la NOM.-001-ECOL-96, y el método utilizado para su determinación fue el de tubos múltiples.

3.7. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DEL CEBETA

Los datos de diseño para la construcción de la planta piloto se basaron en la caracterización que se realizó durante los meses de abril y mayo, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$Q = 0.2 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{DBO}_5 = 500 \text{ mg/l}$$

$$N_0 = 1 \times 10^9 \text{ NMP/100 ml de CF}$$

$$\text{Temperatura de diseño} = 17.3^\circ \text{ C}$$

$$\text{Tasa de evaporación} = 6.16 \text{ mm/d}$$

El efluente debe de contener $N_e < \text{de } 1000 \text{ CF por } 100 \text{ ml}$.

Donde:

CF = Coliformes fecales

N_0 = Número de coliformes en el efluente (NMP/100 ml)

N_e = Número de coliformes en el influente (NMP/100 ml)

Tomando en cuenta los criterios de diseño de carga volumétrica para lagunas anaerobias y el modelo de flujo disperso para el diseño de las lagunas facultativas y de maduración, se generaron las dimensiones que se muestran en la tabla 3.7.1, las mismas que se realizaron para la construcción de la planta piloto.

Tabla 3.7.1. Datos de diseño de las lagunas del CEBETA (planta piloto)

Laguna	volumen m^3	TRH d	área m^2	altura m	ancho m	largo m
Laguna anaerobia	0.407	2	0.30	1.5	0.4	0.8
Laguna facultativa	3.264	13.8	2.72	1.2	0.95	2.9
1ª laguna maduración	2.000	10	2.00	1.0	0.80	2.5
2ª Laguna maduración	0.720	4	0.8	0.9	0.5	1.6
3ª Laguna maduración	0.720	4	0.8	0.9	0.5	1.6

Con este diseño en la laguna anaerobia teóricamente se obtendrá una remoción de materia orgánica del 53.6% para la época fría y del 62.2% para la cálida.

Se realizó una correlación DQO/DBO₅, debido a la falta de equipo para llevar a cabo pruebas de DBO₅, el valor obtenido de DQO/DBO₅ fue de 0.4. En la tabla 3.7.2. se describe esta relación.

Tabla 3.7.2. Relación DQO/DBO₅

DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
1036	404
897	376
800	328
920	340
1001	400
1100	437
885	340
943	368
924	370

Para todo el sistema lagunar se determinó un TRH de 33.9 días y una remoción de DBO y C.F. que se especifica en la tabla 3.7.3.

Tabla 3.7.3. Calidad del agua generada en las lagunas del CEBETA.

Sitio	DBO (mg/l)	Coliformes fecales/100 ml
Influente laguna anaerobia	500*	1.0×10^8
Efluente laguna anaerobia	273*	2.9×10^7
Efluente laguna facultativa	65	3.3×10^6
Efluente 1er. Laguna mad.	49	8.3×10^4
Efluente 2ª. Laguna mad.	37	1.2×10^3
Efluente 3ª. Laguna mad.	27	1.8×10^2

*DBO total

De acuerdo a los datos de evaporación, se estima que el caudal en el efluente será del $0.17 \text{ m}^3/\text{d}$, lo que representa una pérdida del 15%.

La Carga Orgánica Volumétrica y Superficial aplicada a cada laguna de la planta piloto se muestra en la tabla 3.7.3, así también como las eficiencias de remoción estimadas.

Tabla 3.7.3. Datos de diseño de carga orgánica y volumétrica de las lagunas (planta piloto).

Parámetro	Anaerobia	Facultativa	Maduración 1 ^a	Maduración 2 ^a	Maduración 3 ^a
Carga máx Kg DBO/ha.día	1744	200	50	-	-
Carga vol gDBO ₅ /(m ³ . día)	246	4.9	4.6	-	-
Eficiencia de remoción estimada de DBO, %	55	76	25	25	25

Eficiencia de remoción de DBO total del sistema 95.4%.

UNIDAD IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PLANTA PILOTO DEL CEBETA

4.1. RESULTADOS DE CAMPO

Las determinaciones de campo presentados en las tablas 4.1.1 - 4.1.7, incluyen: hora de toma de muestra, pH, temperatura ambiente y del agua, color de la laguna, burbujeo, olor y nubosidad.

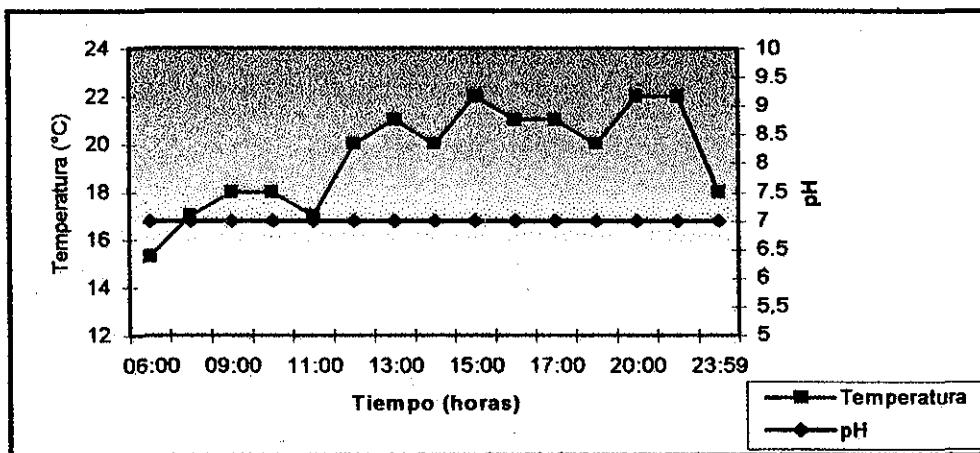
El gasto se midió diariamente a la entrada de la laguna anaerobia y salida de la laguna de maduración III. Debido a que el gasto es controlado con llave en el influente y efluente del sistema, se mantuvo constante en el transcurso del proceso. El promedio del gasto de entrada fue de 0.14 l/s y de la salida de 0.125 l/s.

Los resultados en la laguna anaerobia presentados en la tabla 4.1.1. muestran presencia de olor, burbujeo y un color café oscuro o gris durante todo el muestreo, un pH neutro en todas las mediciones.

Tabla 4.1.1 Datos de campo laguna anaerobia.

	Hora	Olor	Color	Burb.	temp °C		pH	Nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	Si	Café oscuro	Si	15	15.3	7	No
17/01/00	8:00	Si	Negro	Si	15	17	7	No
17/01/00	9:00	Si	Café oscuro	Si	15.5	18	7	No
25/01/00	10:00	Si	Negro	Si	18	18	7	No
18/01/00	11:00	Si	Gris	Si	21	17	7	No
18/01/00	12:00	Si	Gris	Si	23	20	7	No
17/01/00	13:00	Si	Gris	Si	22	21	7	No
19/01/00	14:00	Si	Café oscuro	Si	20	20	7	No
19/01/00	15:00	Si	Negro	Si	24	22	7	No
24/01/00	16:00	Si	negro	Si	23	21	7	No
24/01/00	17:00	Si	Gris	Si	21	21	7	No
24/01/00	18:00	Si	Gris	Si	20	20	7	No
30/01/00	20:00	Si	Café oscuro	Si	20	22	7	No
30/01/00	22:00	Si	Negro	Si	20	22	7	No
30/01/00	24:00	Si	Negro	Si	18	18	7	No

Lámina 4.1.1. Variación horaria de temperatura y pH en el influente a la laguna anaerobia



De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 4.1.2. el influente a la laguna facultativa presenta características similares en cuanto a olor y pH que la laguna anaerobia. Ver foto 3 (Anexo 1).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

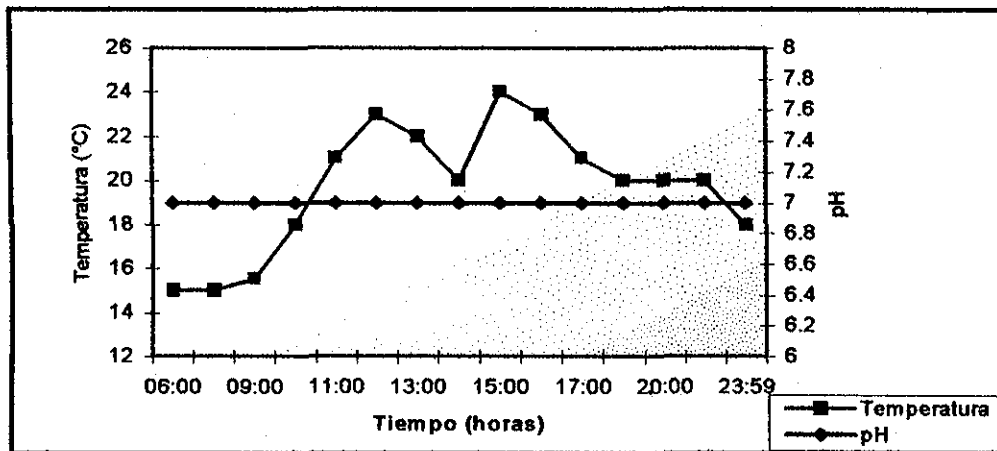
La laguna facultativa presentó al inicio del muestreo una capa gruesa de nata en la superficie con una coloración café, al paso de los días, esta disminuyó hasta desaparecer, presentando cambios de coloración del agua de café a un tono verde oscuro, lo que demostraba la presencia de algas, sin embargo al final del experimento se volvió a presentar una capa ligera de nata, la cual no afectó la concentración de algas en la laguna. Ver foto 4. (Anexo 1).

El aspecto de la nata era café claro, con apariencia de grasa. La nata fue retirada todos los días por medio de una cuchara con malla.

Tabla 4.1.2. Datos de campo del influente a la laguna facultativa.

	Hora	Olor	Color	Burb.	Temp. °C		pH	Nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	Si	Café	Si	15	15	7	No
17/01/00	8:00	Si	Café	Si	15	16	7	No
17/01/00	9:00	Si	Café	Si	15.5	17.5	7	No
25/01/00	10:00	Si	Café	No	18	18	7	No
18/01/00	11:00	Si	Café	No	21	21	7	No
18/01/00	12:00	Si	Café	No	23	21	7	No
17/01/00	13:00	Si	Café	No	22	21	7	No
19/01/00	14:00	Si	Café	No	20	22	7	No
19/01/00	15:00	Si	Café	No	24	22	7	No
24/01/00	16:00	Si	Café	No	23	22	7	No
24/01/00	17:00	Si	Café	No	21	21	7	No
24/01/00	18:00	Si	Café	No	20	20	7	No
30/01/00	20:00	Si	Café	No	20	20	7	No
30/01/00	22:00	Si	Café oscuro	No	20	20	7	No
30/01/00	24:00	Si	Café	No	18	18	7	No

Lámina 4.1.2. Variación horaria de temperatura y pH en el influente a la laguna facultativa.



En las tablas 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 y 4.1.6, se presentan los datos de campo registrados en el monitoreo de las lagunas de maduración I, II, y III en las que se observó la eliminación completa del olor y burbujeo, además un incremento en el pH, 7-9.

En las láminas 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5 y 4.1.6 se observa un incremento en el pH y la temperatura del agua, conforme aumentaba la intensidad de la luz solar, encontrando un pH neutro en las primeras horas de la mañana y un pH de 9 después de las 11:00 hrs hasta las 17:00 hrs, comportamiento que se presenta por la fotosíntesis.

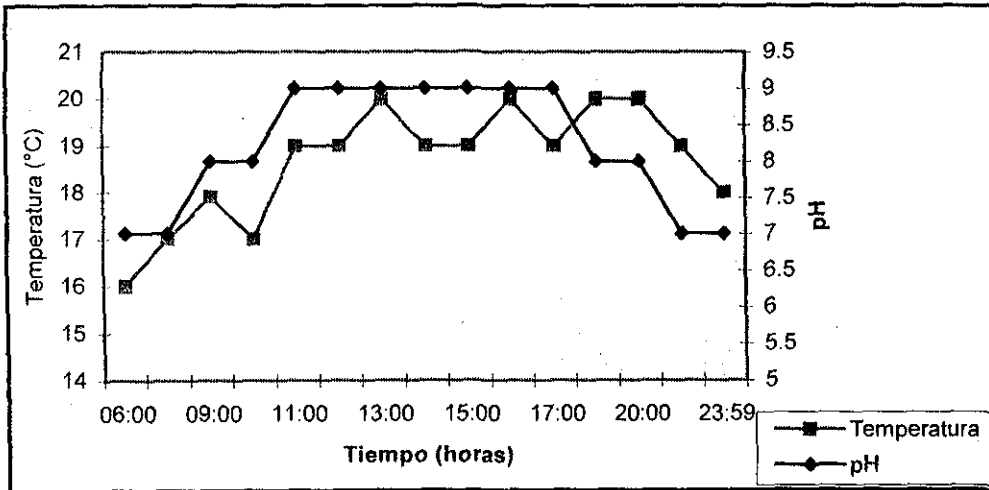
La intensidad del color aumenta de un tono verde a verde oscuro en algunos puntos de la laguna de maduración I, a verde oscuro en todos los resultados obtenidos en la laguna de maduración III, lo que indica un incremento en la cantidad de algas presentes en la misma.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.1.3. Datos de campo laguna de maduración I.

	Hora	Olor	Color	Burb.	Temp °C		pH	Nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	No	Verde obs.	No	15	16	7	No
17/01/00	8:00	No	Verde	No	15	17	7	No
17/01/00	9:00	No	Verde obs.	No	15.5	17.9	8	No
25/01/00	10:00	No	Verde obs.	No	18	17	8	No
18/01/00	11:00	No	Verde obs.	No	21	19	9	No
18/01/00	12:00	No	Verde	No	23	19	9	No
17/01/00	13:00	No	Verde	No	22	20	9	No
19/01/00	14:00	No	Verde	No	20	19	9	No
19/01/00	15:00	No	Verde	No	24	19	9	No
24/01/00	16:00	No	Verde	No	23	20	9	No
24/01/00	17:00	No	Verde	No	21	19	9	No
24/01/00	18:00	No	Verde obs.	No	20	20	8	No
30/01/00	20:00	No	Verde	No	20	20	8	No
30/01/00	22:00	No	Verde	No	20	19	7	No
30/01/00	24:00	No	verde	No	18	18	7	No

Lámina 4.1.3. Variación horaria de temperatura y pH laguna de maduración I.

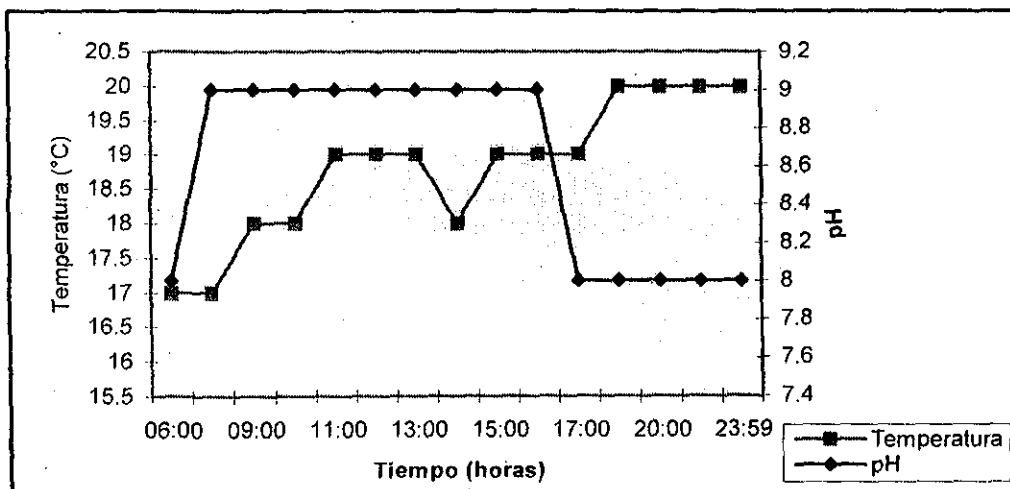


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.1.4. Datos de campo laguna maduración II.

	Hora	Olor	Color	Burb.	Temp °C		pH	Nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	No	Verde obs.	No	15	17	8	No
17/01/00	8:00	No	Verde obs.	No	15	17	9	No
17/01/00	9:00	No	Verde obs.	No	15.5	18	9	No
25/01/00	10:00	No	Verde obs.	No	18	18	9	No
18/01/00	11:00	No	Verde obs.	No	21	19	9	No
18/01/00	12:00	No	Verde	No	23	19	9	No
17/01/00	13:00	No	Verde obs.	No	22	19	9	No
19/01/00	14:00	No	Verde obs.	No	20	18	9	No
19/01/00	15:00	No	Verde obs.	No	24	19	9	No
24/01/00	16:00	No	Verde obs.	No	23	19	9	No
24/01/00	17:00	No	Verde	No	21	19	8	No
24/01/00	18:00	No	Verde obs.	No	20	20	8	No
30/01/00	20:00	No	Verde obs.	No	20	20	8	No
30/01/00	22:00	No	Verde obs.	No	20	20	8	No
30/01/00	24:00	No	Verde obs.	No	18	20	8	No

Lámina 4.1.4. Variación horaria de temperatura y pH laguna de maduración II.

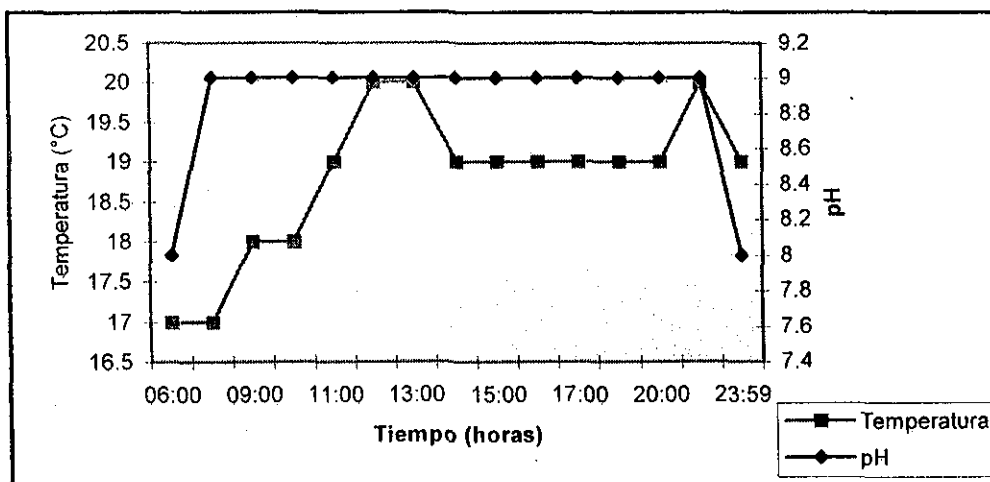


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.1.5. Datos de campo laguna maduración III.

	Hora	Olor	Color	Burb.	Temp °C		pH	Nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	No	Verde obs.	No	15	17	8	No
17/01/00	8:00	No	Verde obs.	No	15	17	9	No
17/01/00	9:00	No	Verde obs.	No	15.5	18	9	No
25/01/00	10:00	No	Verde obs.	No	18	18	9	No
18/01/00	11:00	No	Verde obs.	No	21	19	9	No
18/01/00	12:00	No	Verde obs.	No	23	20	9	No
17/01/00	13:00	No	Verde obs.	No	22	20	9	No
19/01/00	14:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
19/01/00	15:00	No	Verde obs.	No	24	19	9	No
24/01/00	16:00	No	Verde obs.	No	23	19	9	No
24/01/00	17:00	No	Verde obs.	No	21	19	9	No
24/01/00	18:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
30/01/00	20:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
30/01/00	22:00	No	Verde obs.	No	20	20	9	No
30/01/00	24:00	No	Verde obs.	No	18	19	8	No

Lámina 4.1.5. Variación horaria de temperatura y pH laguna de maduración III.

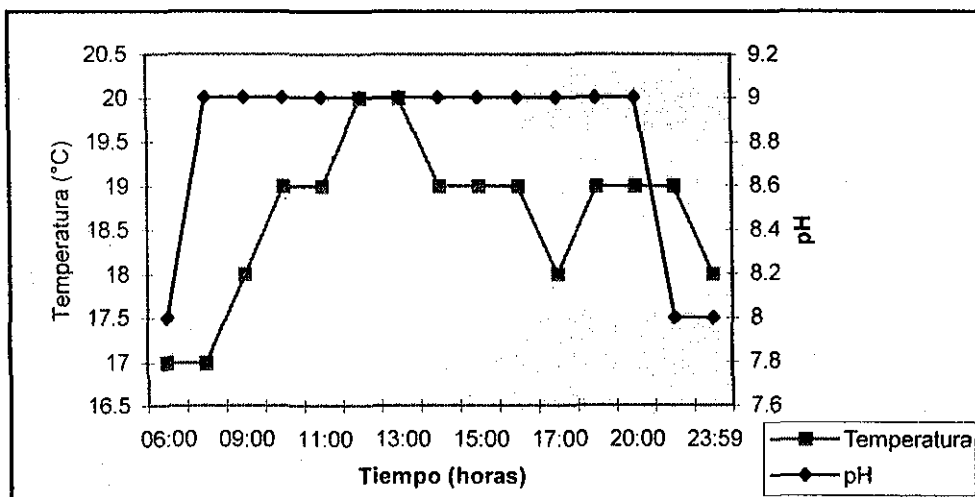


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.1.6. Datos de campo del efluente laguna de maduración III.

	hora	olor	color	burb.	temp °C		pH	nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	No	Verde obs.	No	15	17	8	No
17/01/00	8:00	No	Verde obs.	No	15	17	9	No
17/01/00	9:00	No	Verde obs.	No	15.5	18	9	No
25/01/00	10:00	No	Verde obs.	No	18	19	9	No
18/01/00	11:00	No	Verde obs.	No	21	19	9	No
18/01/00	12:00	No	Verde obs.	No	23	20	9	No
17/01/00	13:00	No	Verde obs.	No	22	20	9	No
19/01/00	14:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
19/01/00	15:00	No	Verde obs.	No	24	19	9	No
24/01/00	16:00	No	Verde obs.	No	23	19	9	No
24/01/00	17:00	No	Verde obs.	No	21	18	9	No
24/01/00	18:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
30/01/00	20:00	No	Verde obs.	No	20	19	9	No
30/01/00	22:00	No	Verde obs.	No	20	19	8	No
30/01/00	24:00	No	Verde obs.	No	18	18	8	No

Lámina 4.1.6. Variación horaria de temperatura y pH efluente laguna de maduración III.

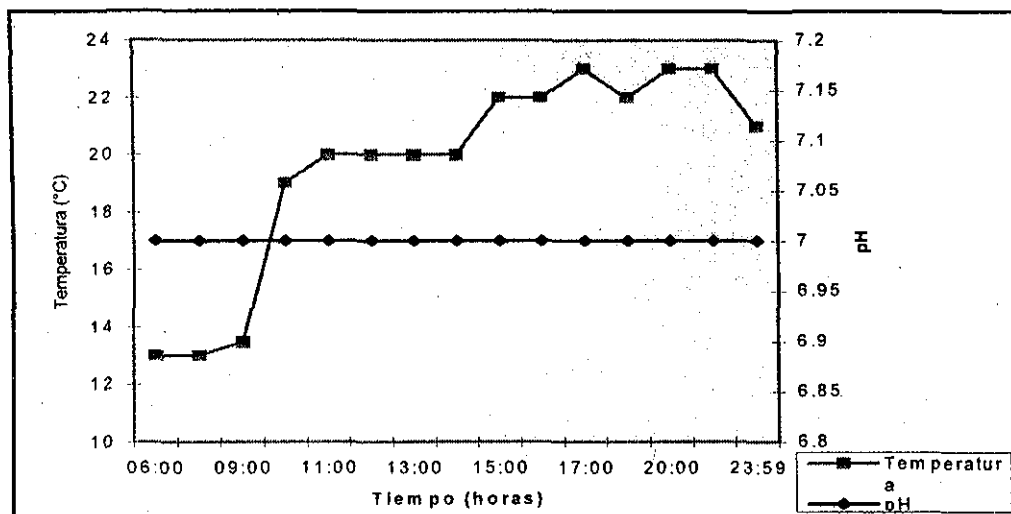


En la tabla 4.1.7, se presentan los datos de campo registrados en el monitoreo del lodo extraído del sedimentador, las características presentadas por el lodo son típicas de un lodo primario sin tratamiento. Presentando un fuerte olor desagradable y difícil manejo del mismo, debido a la cantidad de sólidos presentes en ellos. El pH fue neutro en todas las mediciones. La lámina 4.1.7. presenta las características obtenidas en cuanto a temperatura y pH del lodo.

Tabla 4.1.7. Datos de campo de lodo extraído del sedimentador.

	hora	olor	color	burb.	temp °C		pH	nubosidad
					Amb.	Agua		
17/01/00	6:00	Si	café obs.	-	15	13	7	No
17/01/00	8:00	Si	Negro	-	15	13	7	No
17/01/00	9:00	Si	Negro	-	15.5	13.5	7	No
25/01/00	10:00	Si	Gris obs.	-	18	19	7	No
18/01/00	11:00	Si	Café obs.	-	21	20	7	No
18/01/00	12:00	Si	Negro	-	23	20	7	No
17/01/00	13:00	Si	Gris	-	22	20	7	No
19/01/00	14:00	Si	Gris	-	20	20	7	No
19/01/00	15:00	Si	Café obs	-	24	22	7	No
24/01/00	16:00	Si	Negro	-	23	22	7	No
24/01/00	17:00	Si	Café osc	-	21	23	7	No
24/01/00	18:00	Si	Negro	-	20	22	7	No
30/01/00	20:00	Si	Negro	-	20	23	7	No
30/01/00	22:00	Si	Café obs.	-	20	23	7	No
30/01/00	24:00	si	Negro	-	18	21	7	No

Lámina 4.1.7. Variación horaria de temperatura y pH del lodo extraído del sedimentador.



En lo que se refiere al tratamiento de los lodos residuales, se debe realizar una disposición correcta de los mismos. El espesamiento, acondicionamiento, deshidratación, incineración y la oxidación por vía húmeda son los tratamientos utilizados para la eliminación de la materia orgánica presente en los mismos.

Por las características presentes en el lodo (lodo primario) y la falta de recursos económicos por parte de los porcicultores, se recomienda el espesamiento por medio de lechos de secado e incluir el composteo como parte integral del proceso, eliminando la materia orgánica y microorganismos patógenos presentes en el lodo.

El composteo se puede realizar con los lodos primarios junto con residuos orgánicos (hojas, pastos, etc.) llevándose a cabo el composteo por medio de actinomicetos y hongos que elevan la temperatura de la pila a más de 50°C, a estas temperaturas los organismos patógenos mueren y el composteo crea un humos esponjoso que es excelente como mejorador de suelo o para jardinería.

El uso de composteo además de la eliminación de patógenos traerá como conveniente una remuneración económica para el porcicultor, si decide venderlo o el aprovechamiento del mismo si decide utilizarlo dentro de sus campos de cultivo.

4.2. PROFUNDIDAD DE LODOS

En la tabla 4.2.1. se presentan los resultados de la medición de los lodos en cada laguna de estabilización, la laguna anaerobia presenta una acumulación de lodos del 18%, se recomienda que la profundidad del lodo no exceda del 30% de su volumen para no presentar cortos circuitos lo que traería problemas en la misma. En la laguna facultativa el contenido de lodos es de un 1.8% lo cual no representa problemas en el funcionamiento de la misma. Ver foto 5. (Anexo 1).

Tabla 4.2.1. Profundidad de lodos

Lagunas	Sedim.	Anaerobia	Facultativa			Maduración 1	Maduración 2	Maduración 3
Punto de muestreo	C	C	E	C	S	C	C	C
Profundidad de lodos en cm	25	27	2	2	0.5	0	0	0

C = Centro

E = Entrada

S = Salida

4.3. OXIGENO DISUELTO

La determinación del perfil de oxígeno disuelto sólo se realizó una sola vez para cada laguna con excepción de la laguna anaerobia.

La medición de oxígeno disuelto se realizó a diferentes profundidades de las lagunas: facultativa y de maduración I, II, III. Obteniéndose los perfiles de oxígeno como se presentan en las láminas 4.3.1 – 4.3.3. En los que se obtuvieron bajos niveles en la laguna facultativa y maduración I, sin embargo en las lagunas de maduración II y maduración III, el oxígeno disuelto se incrementó hasta alcanzar 20 mg/l en la laguna de maduración III. A continuación se presentan los resultados de estas mediciones. Ver foto 6. (Anexo 1).

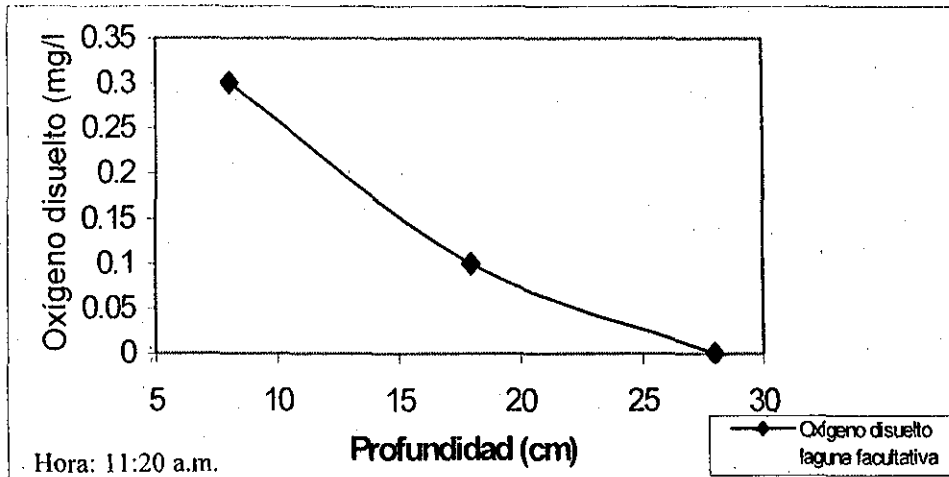
4.3.1. Oxígeno disuelto en laguna facultativa

En la laguna facultativa, se midió el oxígeno disuelto en la superficie, encontrando resultados muy por debajo de los reportados en la literatura (tabla 4.3.1), esto fue principalmente por la presencia de una capa de apariencia de nata o grasa en la superficie anteriormente mencionada, la cual indicaba, un comportamiento de una laguna facultativa sobrecargada, se realizó una inoculación de algas además de eliminar la nata por medio de una malla diariamente, observando un incremento de la coloración de la laguna de ligeramente café-verde a verde oscuro, lo que indica un incremento del oxígeno disuelto y eliminación casi total de la nata.

Tabla. 4.3.1. Oxígeno disuelto en la laguna facultativa.

Profundidad (cm)	Oxígeno disuelto(mg/l)
8	0.3
18	0.1
28	0

Hora de medición 11:20 hr.

Lámina 4.3.1. Perfil de oxígeno disuelto laguna facultativa.

4.3.2. Oxígeno disuelto en laguna de maduración I

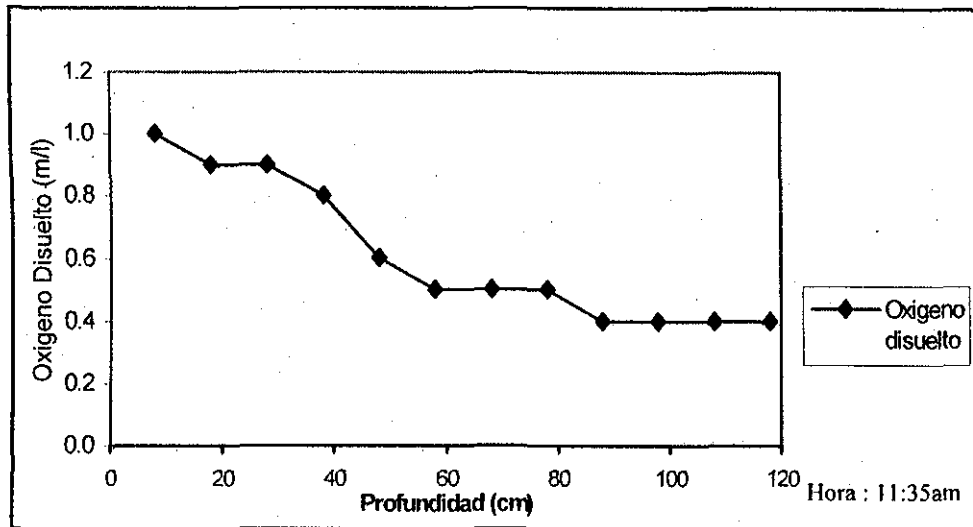
La laguna de maduración I, arrojó resultados bajos de oxígeno disuelto (tabla 4.3.2), obteniendo el valor más alto en la superficie de 1 mg/l de OD y teniendo el valor más bajo en el fondo de la laguna de 0.4 mg/l. La mayor pendiente en éste perfil se muestra hasta una profundidad de 40 cm.

Tabla 4.3.2. Oxígeno disuelto en la laguna de maduración I.

Profundidad (cm)	Oxígeno disuelto(mg/l)	Temperatura (°C)
Superficie	1	22.6°
18	0.9	18.8°
28	0.9	-
38	0.8	-
48	0.6	-
58	0.5	-
68	0.5	-
78	0.5	-
88	0.4	-
98	0.4	-
108	0.4	-
118	0.4	-

- No se determinó.

Lámina 4.3.2. Perfil de oxígeno disuelto laguna de maduración I.



4.3.3. Oxígeno disuelto en laguna de maduración II.

La laguna de maduración II presentó concentraciones de O.D. más altas, principalmente en los primeros 18 cm de profundidad (tabla 4.3.3), en los últimos 50 cm de profundidad se obtuvieron valores inferiores a determinar 1 mg/l de OD. El perfil de oxígeno disuelto en esta laguna se puede observar en la lámina 4.3.3.

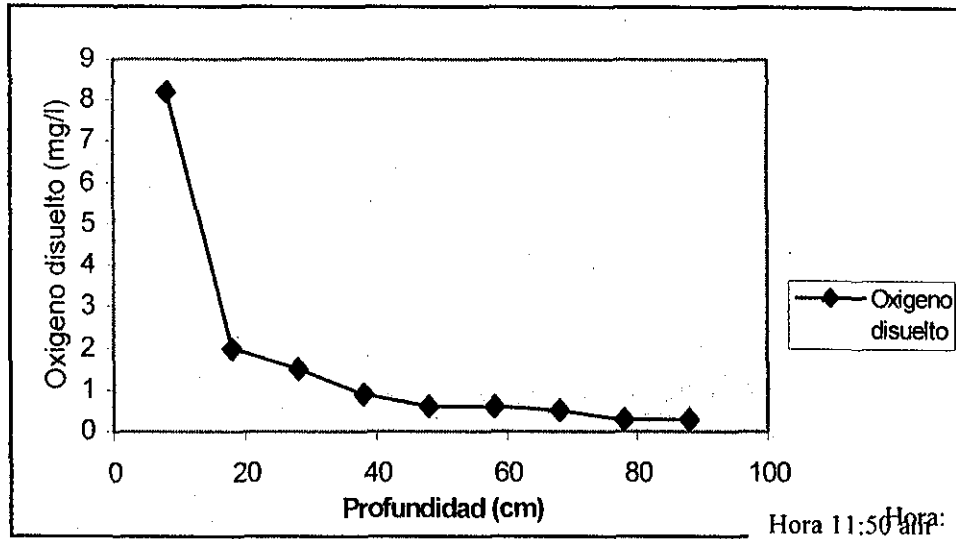
Tabla 4.3.3. Oxígeno disuelto en la laguna de maduración II.

Profundidad (cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)
Superficie	8.2	22.4
18	2.0	19.6
28	1.5	-
38	0.9	-
48	0.6	-
58	0.6	-
68	0.5	-
78	0.3	-
88	0.3	-

- No se determinó.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Lámina 4.3.3. Oxígeno disuelto de la laguna de maduración II.



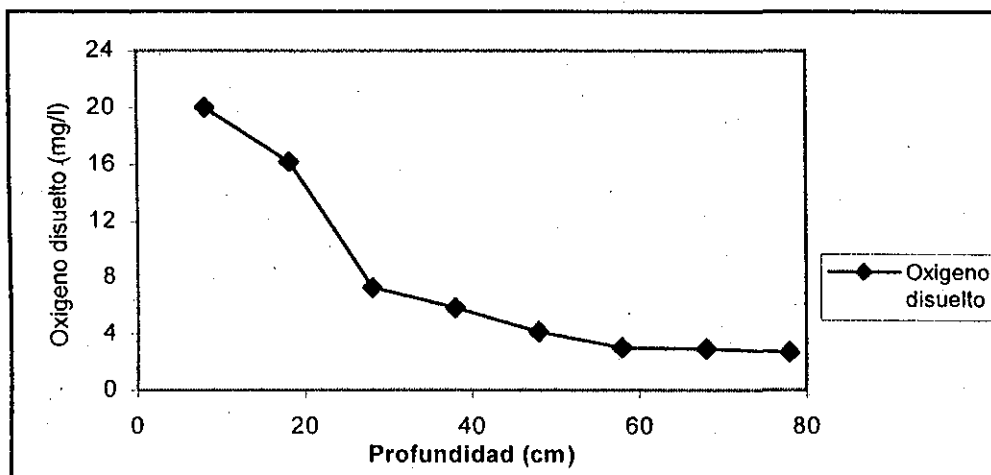
4.3.4. Oxígeno disuelto en laguna de maduración III

En la laguna de maduración III, se determinan valores de saturación altos en la superficie, sin embargo la concentración de oxígeno disuelto no disminuyó drásticamente al aumentar la profundidad, como en las lagunas anteriores; teniendo en el fondo de la misma un valor de 2.7 mg/l de OD, la tabla 4.3.4. muestra los resultados obtenidos en la laguna.

Tabla 4.3.4. Oxígeno disuelto en la laguna de maduración III.

Profundidad (cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)
Superficie	20.0	24.5
18	16.2	20.4
28	7.2	20.0
38	5.8	18.8
48	4.1	18.7
58	3.0	18.6
68	2.9	18.5
78	2.7	18.5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Lámina 4.3.4. Perfil de oxígeno disuelto en la laguna de maduración III.

Hora 12:10 am

4.4. Demanda Química de Oxígeno

Se obtuvo una remoción total del 87.8%, en todo el sistema lagunar, tomando en cuenta el influente a la laguna anaerobia al efluente de la laguna de maduración III.

4.4.1. Laguna anaerobia.

En el influente a la laguna anaerobia se presentó una DQO promedio de 855.27 mg/l y en el efluente fue de 524.62 mg/l. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4.1, con un valor promedio de remoción del 38.66%.

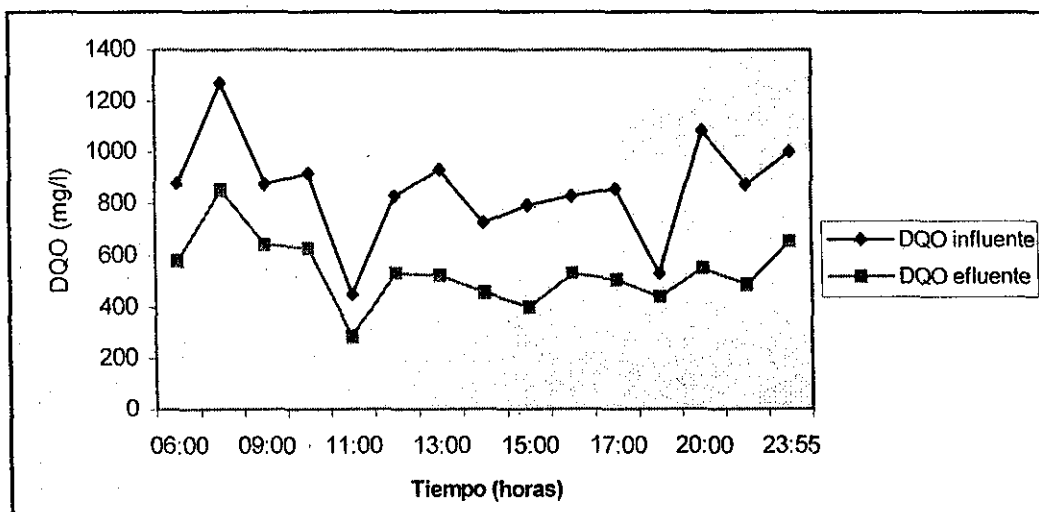
La eficiencia de remoción de DQO más alta (50.70%) se presenta a las 20:00 horas, y a las 18:00 horas el valor mas bajo 15.6%.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.4.1. DQO en el influente y efluente de la laguna anaerobia.

Fecha	Hora	Influente (mg/l)	Efluente (mg/l)
17/01/00	06:00	877	580
17/01/00	08:00	1269	853
17/01/00	09:00	876	643
25/01/00	10:00	916	629
18/01/00	11:00	447	286
18/01/00	12:00	827	529
17/01/00	13:00	932	521
19/01/00	14:00	725	456
19/01/00	15:00	792	398
24/01/00	16:00	827	528
24/01/00	17:00	858	503
24/01/00	18:00	528	437
30/01/00	20:00	1082	549
30/01/00	22:00	873	488
30/01/00	02:00	1000	654
	PROMEDIO	855.27	524.62
EFICIENCIA 38.66			

Lámina 4.4.1. Variación horaria de DQO en la laguna anaerobia.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

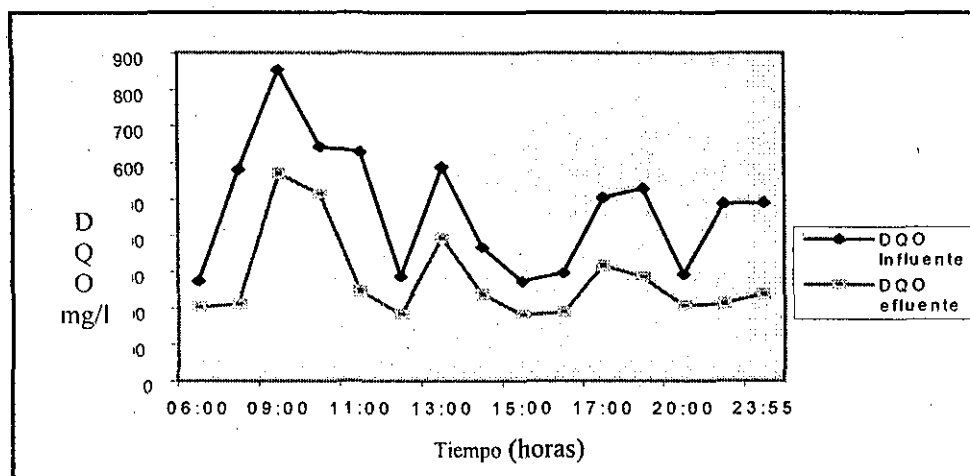
4.4.2. Laguna facultativa.

La remoción promedio de DQO en la laguna facultativa fue del 46.89%, obteniendo la remoción más alta a las 8:00 horas (75%) y la más baja a las 11:00 horas (14%). En la lámina 4.4.2. se presenta la variación horaria de esta laguna.

Tabla 4.4.2. DQO en el influente y efluente de la laguna facultativa.

Fecha	Hora	Influente (mg/l)	Efluente (mg/l)
17/01/00	06:00	580	202
17/01/00	08:00	853	210
17/01/00	09:00	643	572
25/01/00	10:00	629	514
18/01/00	11:00	286	246
18/01/00	12:00	529	182
17/01/00	13:00	521	394
19/01/00	14:00	456	238
19/01/00	15:00	398	180
24/01/00	16:00	528	187
24/01/00	17:00	503	316
24/01/00	18:00	437	284
30/01/00	20:00	549	205
30/01/00	22:00	488	212
30/01/00	02:00	654	237
PROMEDIO		524.63	278.60
EFICIENCIA		46.89%	

Lámina 4.4.2. Variación horaria de DQO en la laguna facultativa.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

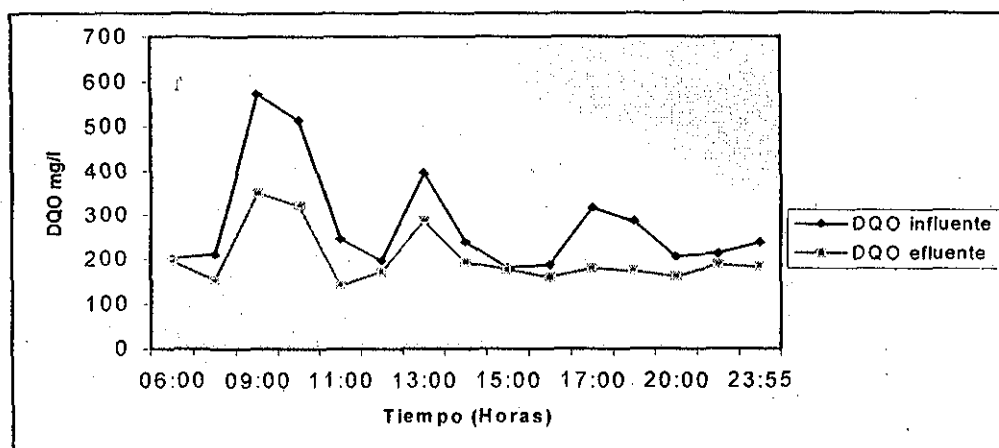
4.4.3. Laguna de maduración I

La remoción que se llevó a cabo en la laguna de maduración I, fue del 27.8% como demanda química de oxígeno (DQO), en la lámina 4.4.3. se presenta la variación horaria de DQO en esta laguna. La DQO medida en las lagunas de maduración fue total al igual que las lagunas anteriores.

Tabla 4.4.3. DQO en el influente y efluente laguna maduración I.

Fecha	Hora	Influente (mg/l)	Efluente (mg/l)
17/01/00	06:00	202	195
17/01/00	08:00	210	153
17/01/00	09:00	572	351
25/01/00	10:00	514	321
18/01/00	11:00	246	141
18/01/00	12:00	197	171
17/01/00	13:00	394	286
19/01/00	14:00	238	192
19/01/00	15:00	180	176
24/01/00	16:00	187	159
24/01/00	17:00	316	179
24/01/00	18:00	284	173
30/01/00	20:00	205	160
30/01/00	22:00	212	187
30/01/00	02:00	237	181
	PROMEDIO	279.60	201.67
		EFICIENCIA	27.87%

Lámina 4.4.3. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración I.



TESIS CON
FALLA DE ORIGI

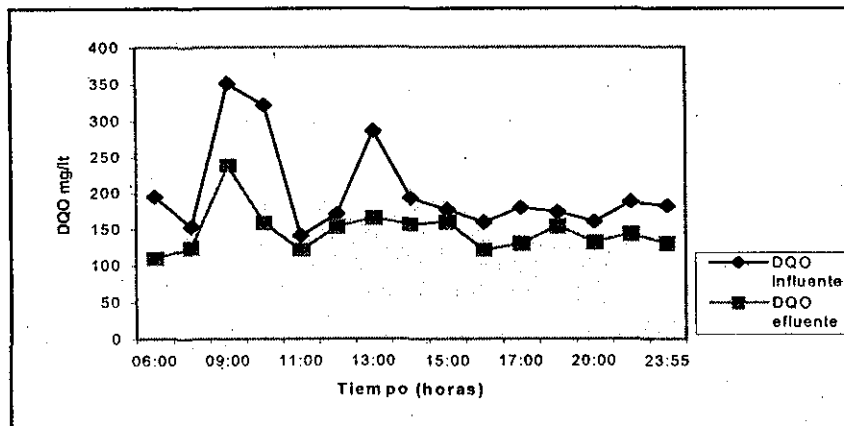
4.4.4. Laguna de maduración II

El influente a la laguna de maduración II, presentó un valor promedio de DQO de 201.67 mg/l, y el efluente un valor promedio de 146.27 mg/l. La eficiencia de remoción de DQO fue del 27.5%. Tabla 4.4.4. La remoción más alta presente a las 9:00 hrs, con un 32% y la más baja a las 12 hrs, con un valor de remoción del 6%. En la lámina 4.4.4. se presenta la variación horaria para esta laguna.

Tabla 4.4.4. DQO en el influente y efluente de la laguna de maduración II.

Fecha	Hora	Influente mg/l	Efluente mg/l
29/01/00	06:00	195	109
17/01/00	08:00	153	124
17/01/00	09:00	351	238
17/01/00	10:00	321	158
25/01/00	11:00	141	121
18/01/00	12:00	171	153
18/01/00	13:00	286	165
17/01/00	14:00	192	156
19/01/00	15:00	176	160
19/01/00	16:00	159	121
24/01/00	17:00	179	130
24/01/00	18:00	173	154
24/01/00	20:00	160	132
30/01/00	22:00	187	143
30/01/00	23:55	181	130
PROMEDIO		201.67	146.67
PROMEDIO DE REMOCION 27.27%			

Lámina 4.4.4. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración II.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

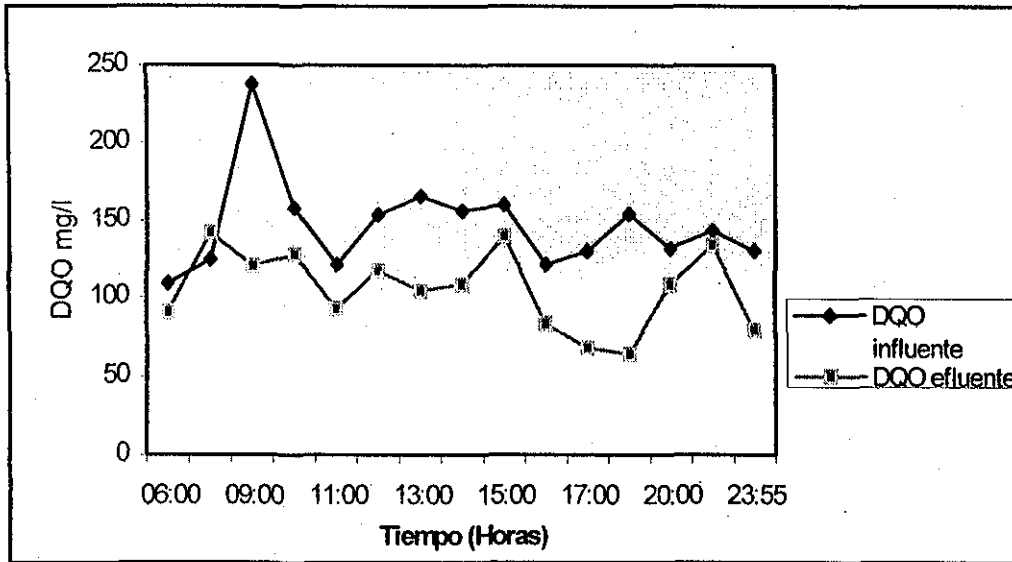
4.4.5. Laguna de maduración III

La laguna de maduración III recibe una concentración promedio de DQO de 146.27 mg/l, un mínimo de 109 mg/l a las 6 horas y un máximo de 238 a las 9:00 hrs, la eficiencia de remoción de este parámetro en promedio para esta laguna fue de 28.03%. Ver tabla 4.4.5.

La lámina 4.4.5. muestra la variación horaria de DQO en la laguna de maduración III, tanto del influente como del efluente.

Tabla 4.4.5. DQO en el influente y efluente de la laguna de maduración III.

Fecha	Hora	Influente mg/l	Efluente mg/l
29/01/00	06:00	109	91
17/01/00	08:00	124	142
17/01/00	09:00	238	120
17/01/00	10:00	158	128
25/01/00	11:00	121	93
18/01/00	12:00	153	117
18/01/00	13:00	165	104
17/01/00	14:00	156	108
19/01/00	15:00	160	140
19/01/00	16:00	121	83
24/01/00	17:00	130	68
24/01/00	18:00	154	64
24/01/00	20:00	132	108
30/01/00	22:00	143	134
30/01/00	23:55	130	79
	PROMEDIO	146.27	105.27
PROMEDIO DE REMOCION DEL 28.03%			

Lámina 4.4.5. Variación Horaria de DQO en la laguna de maduración III.

4.5. Coliformes fecales

Para coliformes fecales el muestreo completo horario solo se realizó en cinco puntos del tren de tratamiento que fue: Influyente laguna facultativa, Influyente laguna maduración I, Influyente laguna de maduración II, Influyente laguna de maduración III y efluente laguna de maduración III. En la tabla 4.5.1. se concentran los resultados obtenidos para todos los puntos.

En cada lote de muestras se corrió un control positivo (*E.coli* ATCC 25922), un control negativo (*Streptococcus* fecales ATCC 6569) y un blanco de agua de dilución estéril.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.5.1. Resultados totales de la determinación de coliformes fecales.

Fecha	Hora	Influyente sedimen- tador	Lodo del sedime- mentador	Influyente laguna anaerobia	Influyente laguna facultativa *	Influyente laguna mad I *	Influyente laguna mad. I	Influyente laguna mad. II	Influyente laguna mad. III	Efluente laguna mad. III
29/01/00	06:00	-	5.0×10^8	3.0×10^5	3.0×10^5	9.0×10^3	9.0×10^3	80	<2	4
17/01/00	08:00	1.6×10^8	1.6×10^9	1.6×10^7	1.6×10^7	1.6×10^5	1.6×10^4	9.0×10^2	70	80
17/01/00	09:00	-	-	-	2.8×10^6	1.6×10^5	9.0×10^5	1.3×10^2	<2	17
17/01/00	10:00	-	-	-	1.6×10^7	1.6×10^5	3×10^3	2.2×10^3	4	8
18/01/00	11:00	4×10^8	2.8×10^8	9.0×10^5	1.6×10^4	1.6×10^4	1.6×10^4	2.8×10^3	50	<2
18/01/00	12:00	-	-	-	1.6×10^6	9.0×10^5	1.6×10^4	7.0×10^2	3.0×10^2	30
18/01/00	13:00	-	-	-	7.0×10^5	1.6×10^4	1.6×10^4	2.4×10^2	80	80
17/01/00	14:00	-	-	-	5.0×10^5	3.0×10^5	7.0×10^2	260	30	<2
19/01/00	15:00	-	-	-	3.0×10^6	3.0×10^4	3.0×10^2	50	50	<2
19/01/00	16:00	-	-	-	1.6×10^4	1.6×10^3	1.6×10^3	1.6×10^2	30	<2
24/01/00	17:00	-	-	1.6×10^6	1.6×10^5	1.6×10^4	1.6×10^4	1.6×10^4	30	<2
24/01/00	18:00	-	-	-	2.4×10^6	3.2×10^5	8.0×10^2	30	13	50
24/01/00	20:00	-	-	-	1.6×10^7	9.0×10^4	9.0×10^3	9.0×10^2	3.0×10^2	50
30/01/00	22:00	-	-	-	4.0×10^5	1.6×10^3	5.0×10^3	2.8×10^2	2.2×10^2	1.3×10^2
30/01/00	23:55	-	-	-	6.6×10^5	4.0×10^4	3.0×10^4	3.0×10^2	33	9

- Muestras no determinadas

* Muestra tomada el 29 de febrero del 2000.

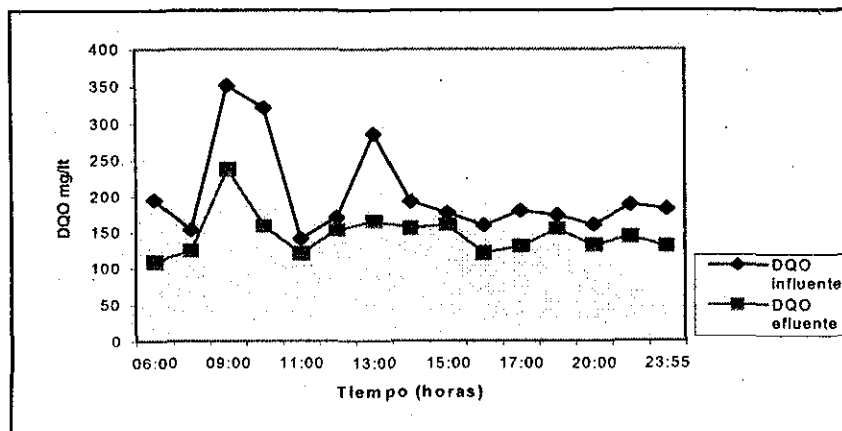
4.5.1. Laguna facultativa

Como se puede observar en la lámina 4.5.1., la disminución de C.F. en la laguna facultativa fue de un logaritmo en promedio. En esta laguna se obtuvo una remoción del 99.72% de C.F.

Tabla 4.5.2. Variación horaria de coliformes fecales en la laguna facultativa.

Fecha	Hora	Influyente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml
17/01/00	06:00	3.0×10^5	9.0×10^3
17/01/00	08:00	1.6×10^7	1.6×10^5
17/01/00	09:00	2.8×10^6	9.0×10^5
25/01/00	10:00	1.6×10^7	3.0×10^3
18/01/00	11:00	1.6×10^4	1.6×10^4
18/01/00	12:00	1.6×10^6	1.6×10^4
17/01/00	13:00	7.0×10^5	1.6×10^4
19/01/00	14:00	5.0×10^5	3.0×10^5
19/01/00	15:00	3.0×10^6	3.0×10^4
24/01/00	16:00	1.6×10^4	1.6×10^3
24/01/00	17:00	1.6×10^5	1.6×10^4
24/01/00	18:00	2.4×10^6	3.2×10^5
30/01/00	20:00	1.6×10^7	9.0×10^4
30/01/00	22:00	4.0×10^5	1.6×10^3
30/01/00	24:00	6.6×10^5	4.0×10^4
Media Geométrica		8.8×10^6	2.44×10^4
EFICIENCIA 99.72%			

Lámina 4.4.4. Variación horaria de DQO en la laguna de maduración II.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.5.2. Laguna de maduración I

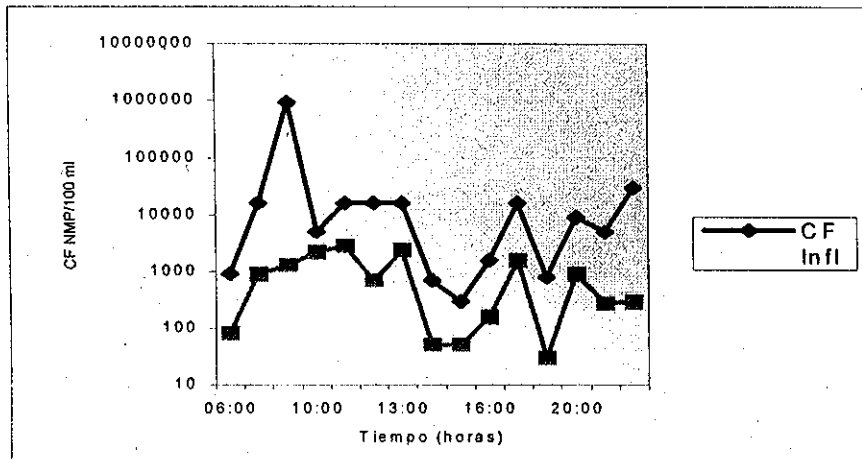
Se puede observar que en la laguna de maduración el efluente cumple con la NOM.001.ECOL.96., en algunos puntos (6:00, 8:00, 9:00, 11:00, 12:00, 14:00, 15:00, 16:00, 18:00, 20:00, 22:00 y 24:00 horas.) Ver tabla 4.5.3.

En la lámina 4.5.2. se muestra la variación horaria de CF en la que se obtuvo una reducción de aproximadamente dos logaritmos en promedio y una eficiencia de remoción del 93.8.

Tabla 4.5.3. Variación horaria de CF en la laguna de maduración I.

Fecha	Hora	Influyente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.
17/01/00	06:00	9.0×10^3	80
17/01/00	08:00	1.6×10^4	9.0×10^2
17/01/00	09:00	9.0×10^5	1.3×10^2
25/01/00	10:00	3×10^3	2.2×10^3
18/01/00	11:00	1.6×10^4	2.8×10^3
18/01/00	12:00	1.6×10^4	7.0×10^2
17/01/00	13:00	1.6×10^4	2.4×10^2
19/01/00	14:00	7.0×10^2	260
19/01/00	15:00	3.0×10^2	50
24/01/00	16:00	1.6×10^3	1.6×10^2
24/01/00	17:00	1.6×10^4	1.6×10^4
24/01/00	18:00	8.0×10^2	30
30/01/00	20:00	9.0×10^3	9.0×10^2
30/01/00	22:00	5.0×10^3	2.8×10^2
30/01/00	24:00	3.0×10^4	3.0×10^2
	MEDIA LOGARITMICA	6.3×10^3	3.89×10^2
	EFICIENCIA	93.80%	

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Lámina 4.5.2. Variación horaria de CF en la laguna de maduración I.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

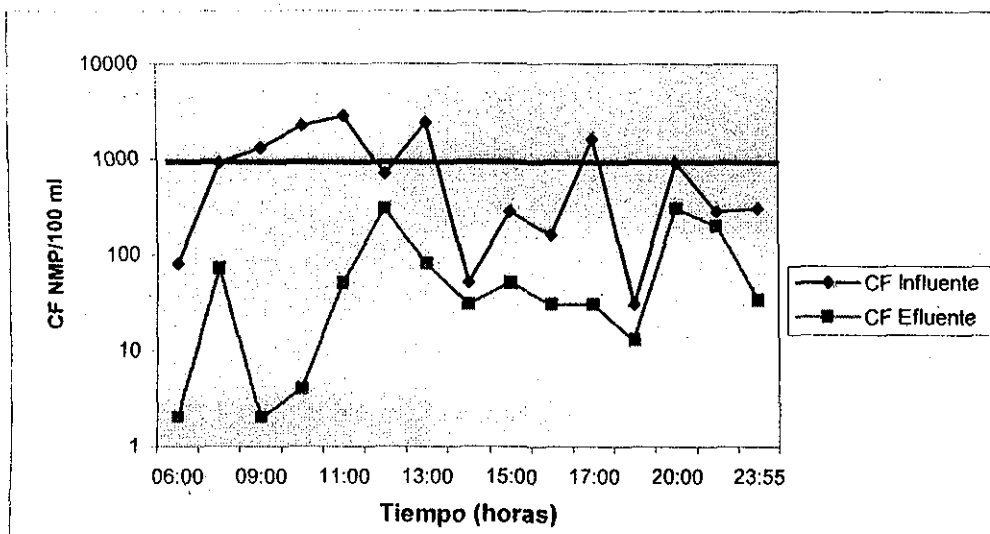
4.5.3. Laguna de maduración II

La laguna de maduración II, presentó la disminución de un logaritmo, con una eficiencia del 91.77% en promedio. Ver tabla 4.5.4. El influente de esta laguna cumple con la NOM.001.ECOL.96., en todos los puntos. Esto se puede observar analizando la lámina 4.5.3.

Tabla 4.5.4. Variación horaria de CF en la laguna de maduración II.

Fecha	Hora	Influente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.
17/01/00	06:00	80	<2
17/01/00	08:00	9.0×10^2	70
17/01/00	09:00	1.3×10^2	<2
25/01/00	10:00	3.0×10^3	4
18/01/00	11:00	1.6×10^4	50
18/01/00	12:00	7.0×10^2	3.0×10^2
17/01/00	13:00	2.4×10^2	80
19/01/00	14:00	50	30
19/01/00	15:00	50	50
24/01/00	16:00	1.6×10^2	30
24/01/00	17:00	1.6×10^4	30
24/01/00	18:00	30	13
30/01/00	20:00	9.0×10^2	3.0×10^2
30/01/00	22:00	2.8×10^2	2.2×10^2
30/01/00	24:00	3.0×10^2	33
MEDIA GEOMETRICA		3.89×10^2	3.2×10^1
		EFICIENCIA	91.77%

Lámina 4.5.3. Variación horaria de CF en la laguna de maduración II.



Norma

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

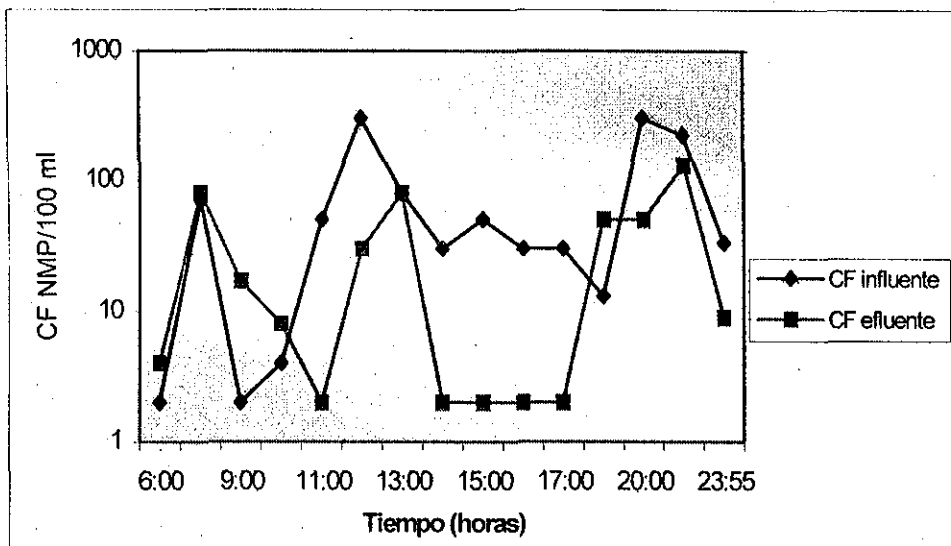
4.5.4. Laguna de maduración III

En esta laguna la eficiencia de remoción de C.F. no es significativa (64.35%), ya que presentan en influente resultados en la mayoría de las veces por debajo de 2 NMP/100 ml. Ver tabla 4.5.5. La lámina 4.5.4. presenta la variación de los resultados tanto en el influente como en el efluente.

Tabla 4.5.5. Variación horaria de CF en la laguna de maduración III.

fecha	hora	Influente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.
17/01/00	06:00	<2	4
17/01/00	08:00	70	80
17/01/00	09:00	<2	17
25/01/00	10:00	4	8
18/01/00	11:00	50	<2
18/01/00	12:00	3.0×10^2	30
17/01/00	13:00	80	80
19/01/00	14:00	30	<2
19/01/00	15:00	50	<2
24/01/00	16:00	30	<2
24/01/00	17:00	30	<2
24/01/00	18:00	13	50
30/01/00	20:00	3.0×10^2	50
30/01/00	22:00	2.2×10^2	1.3×10^2
30/01/00	24:00	33	9
	PROMEDIO	3.2×10^1	1.16×10^1
	EFICIENCIA	64.35%	

Lámina 4.5.4. Variación horaria de CF en la laguna de maduración III.



— Norma

4.6. SÓLIDOS

4.6.1. Sólidos suspendidos totales

A continuación se presenta la tabla 4.6.1. de los resultados de sólidos totales. El muestreo completo solo se realizó a siete puntos que fueron: Influyente laguna anaerobia, influente laguna facultativa, influente laguna de maduración I, influente laguna de maduración II, influente y efluente laguna de maduración III y lodos del sedimentador.

De acuerdo a la NOM-001-ECOL-96:

- Descarga a ríos para uso en riego agrícola, el agua tratada o el efluente de la laguna de maduración con un promedio de 135.54 mg/l de SST, cumple con la norma la cual marca 150 mg/l de SST.
- Descarga en suelo para uso en riego agrícola, el agua tratada o el influente de la laguna de maduración con un promedio de 135.54 mg/l de SST, cumple con la norma la cual no aplica.

Los sólidos suspendidos totales tuvieron un 48% promedio de remoción, con respecto al influente laguna anaerobia y efluente de la laguna de maduración III. En la lámina 4.6.1. se puede observar la variación de SST, que se obtuvo en cada una de las lagunas a través de todo el muestreo

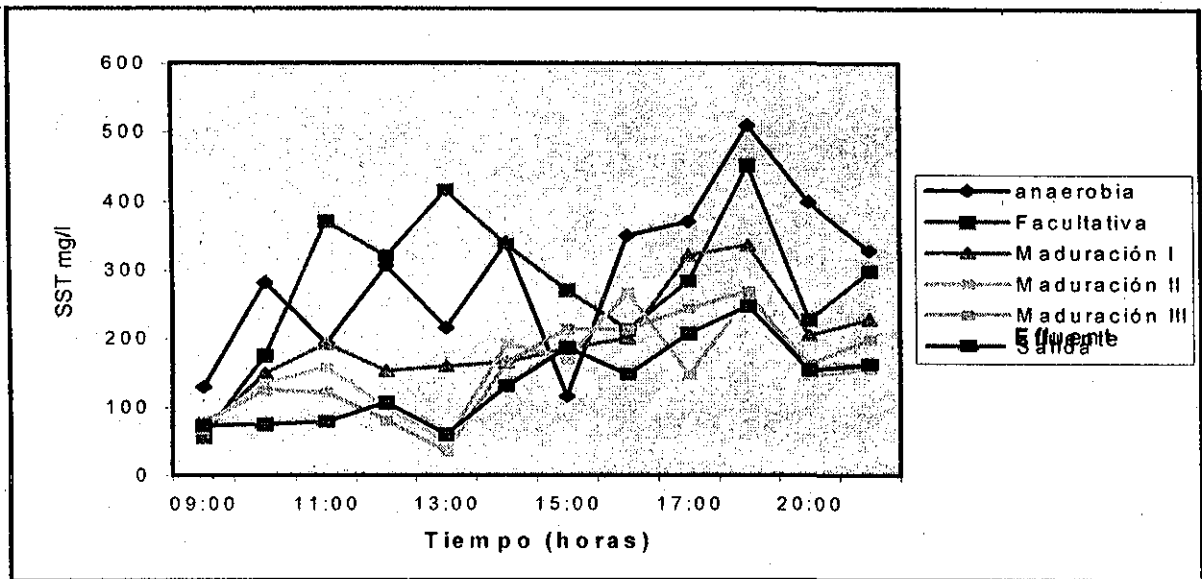
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.6.1. Resultados de sólidos suspendidos totales.

Fecha	Hora	Lodos	Anaerobia	Facultativa	Maduración 1	Maduración 2	Maduración 3	Efluente	Eficiencia %
17/01/00	9:00	15820	128.57	57.14	64.29	71.43	78.57	72.3	44
25/01/00	10:00	12350	282.34	175.00	150.00	135.00	125.00	75.00	73
18/01/00	11:00	17400	192.86	31.43	192.86	157.14	121.43	78.57	59
18/01/00	12:00	5000	306.67	320.00	153.33	100.00	80.00	106.67	65
17/01/00	13:00	12970	215.00	415.38	160.00	50.00	35.00	60.00	72
19/01/00	14:00	16280	340.00	337.00	165.00	192.00	165.00	130.00	62
19/01/00	15:00	28000	215.38	270.71	185.71	171.49	214.29	187.20	62
24/01/00	16:00	10700	350.00	213.33	200.00	266.67	213.33	146.67	58
24/01/00	17:00	27695	370.00	284.62	321.43	146.67	242.86	206.67	44
24/01/00	19:00	15700	510.00	452.17	335.71	260.00	69.23	246.67	52
30/01/00	20:00	14300	398.00	228.10	204.76	163.00	145.67	154.50	61
30/01/00	22:00	15428	328.00	298.00	227.08	198.47	156.73	162.22	48

48%

Lámina 4.6.1. Resultados de sólidos suspendidos totales



4.6.2. Sólidos suspendidos volátiles.

La tabla 4.6.2. presenta los resultados obtenidos de sólidos suspendidos volátiles y él por ciento de remoción obtenido en los mismos. La remoción total del sistema con respecto a sólidos suspendidos volátiles fue de un 66%. Ver tabla 4.6.2.

La gráfica de resultados de sólidos suspendidos volátiles se muestra en la lámina 4.6.2. en la que se puede observar de forma similar los efluentes de cada laguna incrementan los SSV hacia las 17:00 hr, aproximadamente y después disminuyen principalmente a las 20:00 hr.

Lámina 4.6.2. Resultados de sólidos suspendidos volátiles.

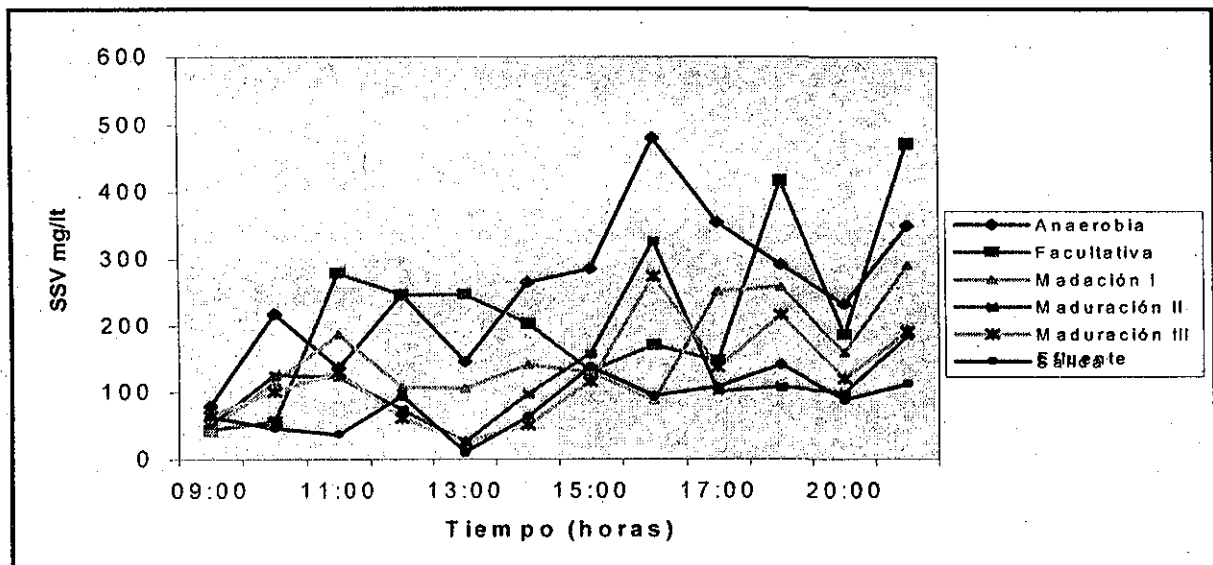


Tabla 4.6.2. Resultados de sólidos suspendidos volátiles.

Fecha	Hora	Lodos	Anaerobia	Facultativa	Maduración 1	Maduración 2	Maduración 3	Efluente	Eficiencia %
17/01/00	9:00	11827	78.57	42.86	42.86	50.00	64.29	62.34	21
25/01/00	10:00	8246	216.60	55.00	115.00	125.00	100.00	45.00	79
18/01/00	11:00	7100	135.71	278.57	185.71	121.43	128.57	35.71	74
18/01/00	12:00	3166.6	246.67	246.67	106.67	73.33	60.00	93.33	62
17/01/00	13:00	6280	145.00	246.15	105.00	25.00	25.00	10.00	93
19/01/00	14:00	10324	264.00	203.00	140.00	96.00	50.00	62.00	77
19/01/00	15:00	16400	284.62	130.30	128.57	157.14	114.29	137.00	52
24/01/00	16:00	6100	480.00	170.00	86.67	326.67	273.33	93.33	81
24/01/00	17:00	17569	353.33	146.15	250.00	100.00	135.71	106.67	70
24/01/00	19:00	6900	290.00	417.39	257.14	106.67	215.38	140.00	52
30/01/00	20:00	5800	231.00	184.69	157.65	97.34	118.80	87.00	62
30/01/00	22:00	6320	348.95	472.58	289.14	182.93	189.65	111.03	68
									66%

4.7. Alcalinidad

En la tabla 4.7.1. se presentan los resultados obtenidos al determinar la alcalinidad en 8 muestras (promedio de tres mediciones realizadas), tomadas en la planta piloto del CEBETA.

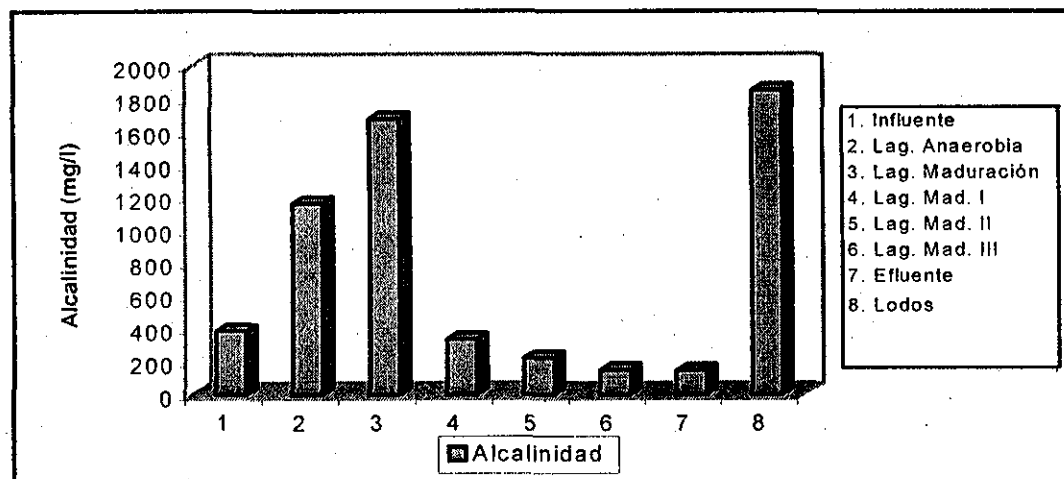
La lámina 4.7.1. presenta en forma de gráfica de barras los resultados, en la que se puede apreciar que se presenta un incremento en la alcalinidad en condiciones anaerobias (laguna anaerobia y lodos) y la disminución de la misma en condiciones aerobias como se puede observar en los efluentes de las lagunas de maduración I, II y III.

La laguna facultativa presenta una alcalinidad de 1674 mg/l en promedio, valor alto en comparación con las demás lagunas, sin embargo no fue significativo ni causo problemas en las lagunas subsecuentes (maduración I, II y III).

Tabla 4.7.1. Alcalinidad en la planta piloto del CEBETA.

Hora	Punto de Muestreo	Alcalinidad mg/l
10:00	Influente al sedimentador	385
10:00	Influente laguna anaerobia	1165
10:00	Influente laguna facultativa	1674
10:00	Influente laguna maduración I	337
10:00	Influente laguna maduración II	222
10:00	Influente laguna maduración III	151
10:00	Efluente planta	145
10:00	lodos	1850

Lámina 4.7.1. Alcalinidad en la planta piloto del CEBETA.



4.8. Grasas y Aceites

No se realizaron pruebas de grasas y aceites. Debido a las características del agua residual dentro de la revisión bibliográfica que se llevó a cabo, se observó que no es un parámetro realizado en ningún estudio anterior, por lo que tampoco se pudo obtener algún valor sobre dicho parámetro.

También se observó en las lagunas de maduración, una alta concentración de algas, las cuales no hubiesen sido posibles, si la concentración de grasas y aceites dentro del influente a dichas lagunas se hubiera presentado.

4.9. Nitrógeno

De igual forma que grasas y aceites se realizaron dos determinaciones de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal al influente y efluente del sedimentador obteniendo los siguientes valores.

Tabla 4.9.1. Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal en el influente y efluente al sedimentador.

SITIO	1ª muestra		2ª muestra	
	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l
Influente	178	119	156	118
Efluente	159	97	132	102

De acuerdo a la literatura el nitrógeno orgánico es removido en las lagunas a través de la fabricación de algas y a los procesos de nitrificación y pérdida de NH_3 (amonio gaseoso). (Pelczar, 1997).

Estudios realizados en Francia a 178 lagunas facultativas presentan remociones de nitrógeno del 60-70% (Recault, 1990). Wigley and Toerian (1990), reporta estudios durante 21 meses a escala piloto de lagunas facultativas obteniendo reducciones del 82% de $\text{NH}_3\text{-H}$. (Shilton 1994), cuantifico la remoción de $\text{NH}_3\text{-H}$ en efluentes porcícolas a través de lagunas de estabilización, encontrando altas tasas de volatilización del mismo de 355 a 1534 $\text{mg/m}^2\text{.d}$. Otros estudios presentan remociones de nitrógeno TKN, $\text{NH}_3\text{-H}$ y Nitrógeno orgánico en lagunas anaerobia de 44%, 43% y 21% respectivamente (Rakkoed-1999). Algunos de los estudios anteriores marcan tiempos de retención menores de 20 días, en comparación con los 27.7 días que se proponen en la planta se puede asegurar una remoción igual o cercana a la reportada en bibliografía.

De acuerdo con el estudio anterior se realizó un calculo de Nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal en los efluentes de la laguna anaerobia y laguna facultativa, obteniendo los siguientes valores de los mismos:

Tabla 4.9.2. Nitrógeno total y nitrógeno amoniacal en el efluente laguna anaerobia y laguna facultativa.

SITIO	Laguna anaerobia		Laguna facultativa	
	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l	Nitrógeno total mg/l	Nitrógeno amoniacal mg/l
Efluente	95.4	58.2	38.2	17.5

4.10. CARGA ORGÁNICA

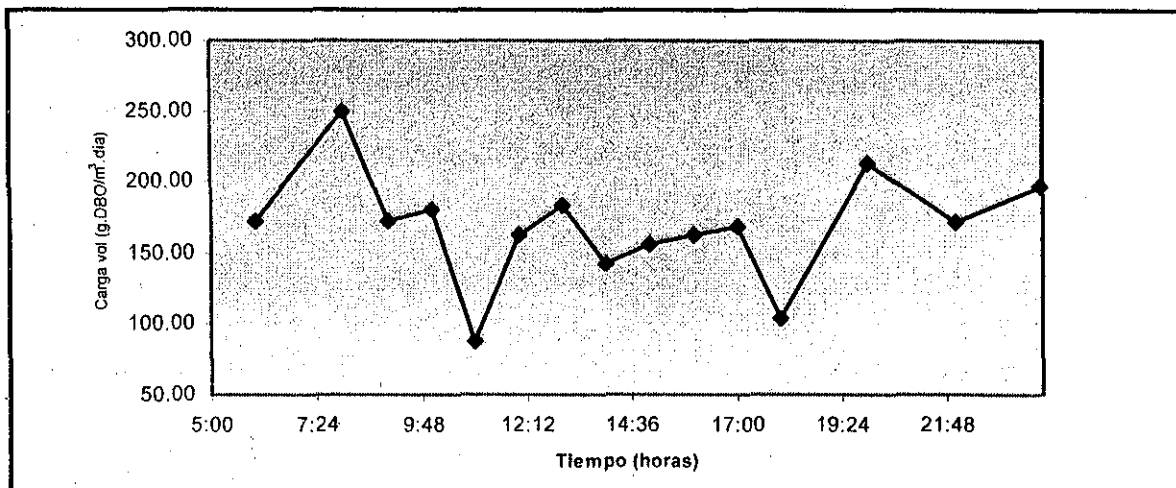
4.10.1. Laguna anaerobia

La laguna anaerobia se encuentra trabajando por debajo de la carga volumétrica a la cual fue diseñada que es de 245 gDBO/m³ día, recibiendo una carga promedio de 168 gDBO/m³ día.

En la lámina 4.8.1. se presenta la variación horaria de carga volumétrica en la laguna anaerobia, la que en todos los casos, no sobrepasa el máximo permisible (<300 gDBO/m³ día).

Tabla 4.10.1. Carga volumétrica en la laguna anaerobia.

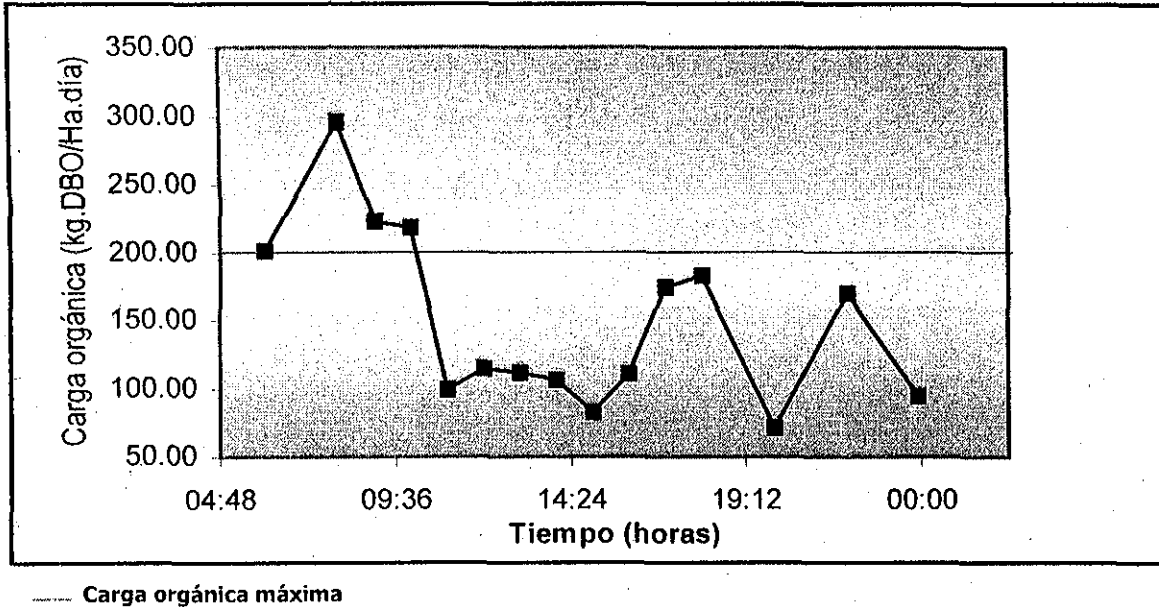
hora	Flujo l/min	DBO influyente mg/l	Carga superficial Kg.DBO/Ha.día	Carga volumétrica gDBO/m ³ día
06:00	0.190	350.80	2241.53	172.38
08:00	0.195	507.60	3243.45	249.43
09:00	0.190	350.40	2238.98	172.19
10:00	0.195	366.40	2341.21	180.05
11:00	0.200	178.80	1142.49	87.86
12:00	0.190	330.80	2113.74	162.56
13:00	0.190	372.80	2382.11	183.19
14:00	0.185	290.00	1853.04	142.51
15:00	0.190	316.80	2024.28	155.68
16:00	0.190	330.80	2113.74	162.56
17:00	0.195	343.20	2192.97	168.65
18:00	0.195	211.20	1349.52	103.78
20:00	0.190	432.80	2765.50	212.68
22:00	0.190	349.20	2231.31	171.60
24:00	0.200	400.00	2555.91	196.56
Promedio			2185.99	168.11

Lámina 4.10.1. Variación horaria de carga volumétrica laguna anaerobia.**4.10.2. Laguna facultativa.**

La laguna facultativa recibió carga orgánica superficial promedio de 150 kg DBO/ha.día, la que fue menor que la utilizada en su diseño 200 kg DBO/ha.día. Ver tabla 4.8.2. En la lámina 4.8.2 se observa la variación horaria de la carga orgánica en esta laguna, observando el punto más bajo a las 20:00 hrs.

Tabla 4.10.2 Variación horaria de carga superficial en la laguna facultativa

Hora	DBO Influyente mg/l	Carga superficial KgDBO/Ha.día	Carga volumétrica gDBO/m ³ día
06:00	220.4	200.91	16.75
08:00	324.14	295.48	24.63
09:00	244.34	222.73	18.57
10:00	239.02	217.89	18.16
11:00	108.68	99.07	8.26
12:00	125.02	113.97	9.50
13:00	121.98	111.19	9.27
14:00	116.28	106.00	8.84
15:00	90.44	82.44	6.87
16:00	120.84	110.15	9.18
17:00	191.14	174.24	14.52
18:00	200.64	182.90	15.25
20:00	77.9	71.01	5.92
22:00	185.44	169.04	14.09
24:00	103.74	94.57	7.88
PROMEDIO		150.11	11.60

Lámina 4.8.2. Variación horaria de carga superficial en la laguna facultativa.

— Carga orgánica máxima

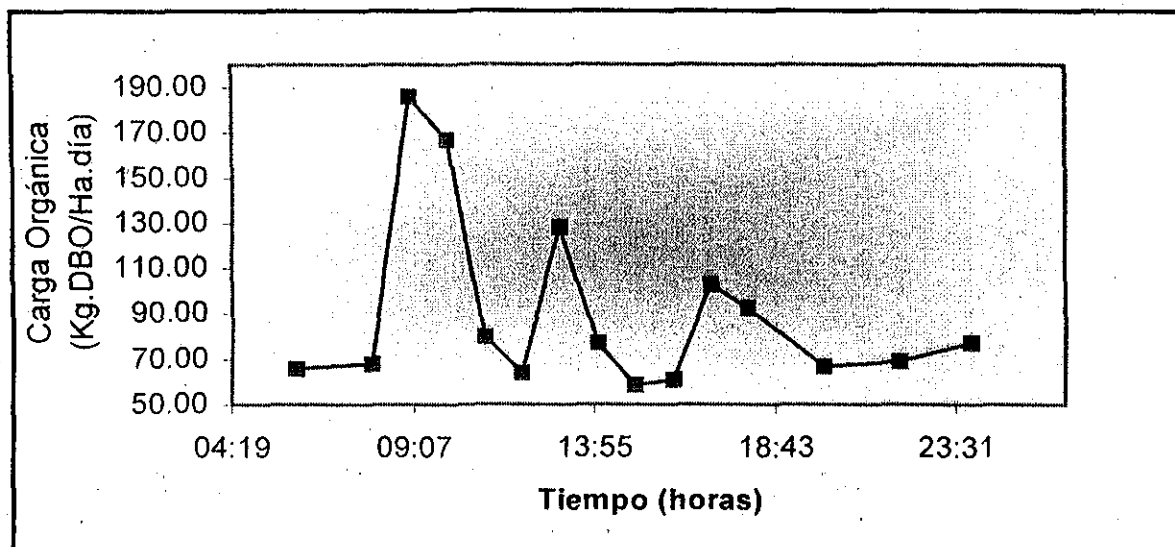
4.8.3. Laguna de maduración I.

La laguna de maduración I, se encontró sobrecargada en cuanto a su valor promedio el cual fue de 90.84 kg.DBO/Ha.día y el valor de diseño fue de 50 kg/DBO/Ha.día, teniendo una sobrecarga de cerca del 80%. Ver lámina 4.8.3.

Tabla 4.8.3. Carga superficial en la laguna de maduración I.

Hora	DBO Influyente mg/l	Carga superficial Kg.DBO/Ha.día	Carga volumétrica gDBO/m ³ día
06:00	68.68	65.63	6.56
08:00	71.40	68.23	6.82
09:00	194.48	185.84	18.58
10:00	174.76	166.99	16.70
11:00	83.64	79.92	7.99
12:00	66.98	64.00	6.40
13:00	93.96	128.01	12.80
14:00	80.92	77.32	7.73
15:00	61.20	58.48	5.85
16:00	63.58	60.75	6.08
17:00	107.44	102.67	10.27
18:00	96.56	92.27	9.23
20:00	69.70	66.60	6.66
22:00	72.08	68.88	6.89
24:00	80.58	77.00	7.70
PROMEDIO		90.84	9.08

Lámina 4.8.3. Variación horaria de carga superficial en la laguna de maduración I.



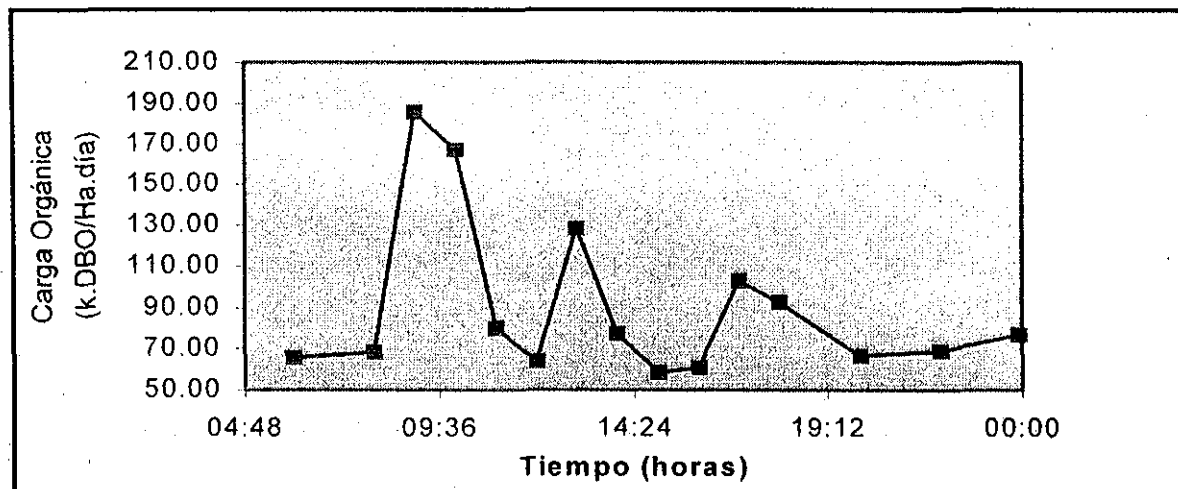
4.8.4. Laguna de maduración II

El promedio de Carga superficial en esta laguna fue de 143.65 kg.DBO/Ha.día, recibiendo la carga más alta a las 9:00 horas y la menor a las 6:00 horas. Tabla 4.8.4.

Tabla 4.8.4. Carga superficial en la laguna de maduración II

Hora	DBO Influyente mg/l	Carga superficial Kg.DBO/Ha.día	Carga volumétrica gDBO/m ³ día
06:00	35.97	107.05	10.71
08:00	40.92	121.79	12.18
09:00	78.54	233.75	23.38
10:00	52.14	155.18	15.52
11:00	39.93	118.84	11.88
12:00	50.49	150.27	15.03
13:00	54.45	162.05	16.21
14:00	51.48	153.21	15.32
15:00	52.8	157.14	15.71
16:00	39.93	118.84	11.88
17:00	42.9	127.68	12.77
18:00	50.82	151.25	15.13
20:00	43.56	129.64	12.96
22:00	47.19	140.45	14.04
24:00	42.9	127.68	12.77
PROMEDIO		143.65	14.37

Lámina 4.8.4. Variación horaria de carga superficial en la laguna de maduración II.



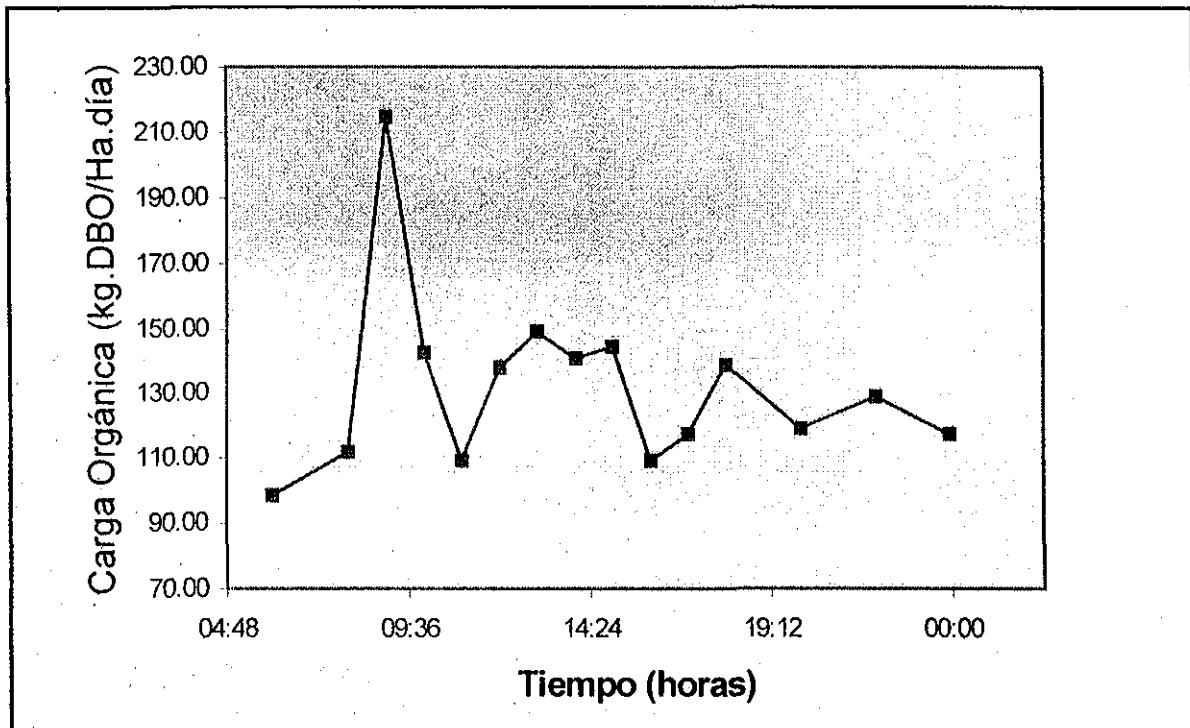
4.8.5. Laguna de maduración III

La laguna de maduración III presentó un promedio de carga superficial de 90.84 Kg.DBO/Ha.día, obteniendo el valor más alto a las 9:00 horas y el más bajo a las 15:00 horas. Ver tabla 4.8.5.

Tabla 4.8.5. Carga superficial en la laguna de maduración III.

Hora	DBO Influyente mg/l	Carga superficial Kg.DBO/Ha.día	Carga volumétrica gDBO/m ³ .día
06:00	39.24	98.33	9.83
08:00	44.64	111.87	11.19
09:00	85.68	214.71	21.47
10:00	56.88	142.54	14.25
11:00	43.56	109.16	10.92
12:00	55.08	138.03	13.80
13:00	59.40	148.85	14.89
14:00	56.16	140.73	14.07
15:00	57.60	144.34	14.43
16:00	43.56	109.16	10.92
17:00	46.80	117.28	11.73
18:00	55.44	138.93	13.89
20:00	47.52	119.08	11.91
22:00	51.48	129.01	12.90
24:00	46.80	117.28	11.73
PROMEDIO		131.95	13.20

Lámina 4.8.5. Variación horaria de carga superficial en la laguna de maduración III.



4.9. CÁLCULO DE LAS CINÉTICAS DE DEGRADACIÓN DE CARGA ORGÁNICA Y BACTERIANA, EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

4.9.1. Laguna anaerobia.

Para la laguna anaerobia solo se determinó la constante cinética de remoción de carga orgánica, en la tabla 4.9.1. se muestran las K (Ec. 40) obtenidas para cada una de las muestras tomadas.

4.9.2. Laguna facultativa

4.9.2.1. Carga orgánica.

Para obtener la ecuación de la laguna facultativa se utilizó la ecuación para flujo disperso de Thirumurthi (Ec. 40). En la tabla 4.9.2. Se muestra los resultados obtenidos de la constante (K) de decaimiento de carga orgánica.

Tabla 4.9.1. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna anaerobia.

hora	Q m ³ /día	DBO Influente mg/l	DBO Efluente mg/l	K día ⁻¹	K día ⁻¹
06:00	0.190	350.80	220.40	0.258	0.258
08:00	0.195	507.60	324.14	0.247	0.247
09:00	0.190	350.40	244.34	0.195	0.195
10:00	0.195	366.40	239.02	0.235	0.235
11:00	0.200	178.80	108.68	0.278	0.278
12:00	0.190	330.80	125.02	0.608	0.608
13:00	0.190	372.80	121.98	0.721	0.721
14:00	0.185	290.00	116.28	0.562	0.562
15:00	0.190	316.80	90.44	0.832	0.832
16:00	0.190	330.80	120.84	0.634	0.634
17:00	0.195	343.20	191.14	0.334	0.334
18:00	0.195	211.20	200.64	0.026	*
20:00	0.190	432.80	77.90	1.250	*
22:00	0.190	349.20	185.44	0.364	0.364
24:00	0.200	400.00	103.74	0.917	*
Promedio				0.497	0.439
Desviación Estandar				0.331	

Los coeficientes de correlación obtenidos en la laguna anaerobia son muy bajos y el error estimado muy alto por lo que no se recomienda la utilización de un modelo cinético para el diseño de la misma. (Escalante, 1997)

El método de carga volumétrica, recomendado en la bibliografía para este tipo de lagunas es el que principalmente se utiliza para su diseño, por lo que es el que recomendamos que utilicen, Costa, 2000Mendiola, 1995, Middlebroks, 1982,.

Tabla 4.9.2. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna facultativa.

hora	Q m ³ /día	DBO Influyente mg/l	DBO Efluente mg/l	λs	K día ⁻¹	K día ⁻¹
06:00	0.1824	220.40	68.68	200.91	0.101	*
08:00	0.1872	324.14	71.40	295.48	0.107	*
09:00	0.1824	244.34	194.48	222.73	0.017	0.017
10:00	0.1872	239.02	174.76	217.89	0.024	0.024
11:00	0.192	108.68	83.64	99.07	0.021	0.021
12:00	0.1824	125.02	66.98	113.97	0.049	0.049
13:00	0.1824	121.98	93.96	111.19	0.019	0.019
14:00	0.1776	116.28	80.92	106.00	0.027	0.027
15:00	0.1824	90.44	61.20	82.44	0.030	0.030
16:00	0.1824	120.84	63.58	110.15	0.051	0.051
17:00	0.1872	191.14	107.44	174.24	0.050	0.050
18:00	0.1872	200.64	96.56	182.90	0.060	0.060
20:00	0.1824	77.90	69.70	71.01	0.008	*
22:00	0.1824	185.44	72.08	169.04	0.008	*
24:00	0.192	103.74	80.58	94.57	0.020	0.020
Promedio					0.039	0.029
Desviación Estándar					0.031	

* Valor descartado por estudio estadístico.

λs = Carga orgánica superficial

La ecuación general obtenida para la remoción de carga orgánica de la laguna facultativa:

$$K = (-0.13022) + 0.006876(T) + 0.00016198(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua
CO = Carga orgánica

Resultados estadísticos:

Coefficiente de correlación múltiple R 0.864029
Error estándar estimado 0.1455

La ecuación general de remoción de carga orgánica para la laguna facultativa obtuvo un coeficiente de correlación y error estándar de 86.4% y 14.55% respectivamente, por lo que se acepta el modelo como aceptable en esta laguna.

Tabla 4.9.3. Constante cinética de decaimiento de carga orgánica para la laguna de maduración I.

hora	Q m ³ /día	DBO Influyente mg/l	DBO Enfluyente mg/l	λ_s	K día ⁻¹	K día ⁻¹
06:00	0.179	68.68	35.97	65.63	0.068	0.068
08:00	0.183	71.40	40.92	68.23	0.060	0.060
09:00	0.179	194.48	78.54	185.84	0.102	0.102
10:00	0.183	174.76	52.14	166.99	0.147	*
11:00	0.188	83.64	39.93	79.92	0.085	0.085
12:00	0.179	66.98	50.49	64.00	0.028	*
13:00	0.179	93.96	54.45	128.01	0.057	0.057
14:00	0.174	80.92	51.48	77.32	0.046	0.046
15:00	0.179	61.20	52.80	58.48	0.015	*
16:00	0.179	63.58	39.93	60.75	0.048	0.048
17:00	0.183	107.44	42.90	102.67	0.105	0.105
18:00	0.183	96.56	50.82	92.27	0.070	0.070
20:00	0.179	69.70	43.56	66.60	0.049	0.049
22:00	0.179	72.08	47.19	68.88	0.044	0.044
24:00	0.188	80.58	42.9	77.00	0.071	0.071
Promedio					0.066	0.067
Desviación Estándar					0.033	

* Valor descartado por estudio estadístico.

λ_s = Carga orgánica superficial

La ecuación general obtenida para la remoción de carga orgánica de la laguna maduración I:

$$K = (-2.15378) - 0.004687(T) + 0.00414(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua

CO = Carga orgánica

Resultados estadísticos:

Coefficiente de correlación múltiple R 0.8669

Error estándar estimado 0.1897

De las tres lagunas de maduración sólo en la laguna I se realizó ecuación general para remoción de carga orgánica, obteniendo coeficiente de correlación del 86.69% y error estándar del 18.97%, aceptando la ecuación obtenida para esta laguna.

Tabla 4.9.4. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna facultativa.

hora	Q m ³ /día	Influyente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.	Kb día ⁻¹	Kb día ⁻¹
06:00	0.1824	3.0 x 10 ⁵	9.0 x 10 ³	0.439	0.439
08:00	0.1872	1.6 x 10 ⁷	1.6 x 10 ⁵	0.682	0.682
09:00	0.1824	2.8 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁵	0.328	0.328
10:00	0.1872	1.6 x 10 ⁷	1.6 x 10 ⁵	0.682	0.682
11:00	0.192	1.6 x 10 ⁴	1.6 x 10 ⁴	-	-
12:00	0.1824	1.6 x 10 ⁶	9.0 x 10 ⁵	0.045	*
13:00	0.1824	7.0 x 10 ⁵	1.6 x 10 ⁴	0.490	0.490
14:00	0.1776	5.0 x 10 ⁵	3.0 x 10 ⁵	0.039	*
15:00	0.1824	3.0 x 10 ⁶	3.0 x 10 ⁴	0.660	0.660
16:00	0.1824	1.6 x 10 ⁴	1.6 x 10 ³	0.242	0.242
17:00	0.1872	1.6 x 10 ⁵	1.6 x 10 ⁴	0.249	0.249
18:00	0.1872	2.4 x 10 ⁶	3.2 x 10 ⁵	0.208	0.208
20:00	0.1824	1.6 x 10 ⁷	9.0 x 10 ⁴	0.798	0.798
22:00	0.1824	4.0 x 10 ⁵	1.6 x 10 ³	0.880	0.880
24:00	0.192	6.6 x 10 ⁵	4.0 x 10 ⁴	0.336	0.336
Promedio				0.434	0.608
Desviación Estándar				0.271	

* Valor descartado por estudio estadístico.

- Valor descartado por no haber remoción.

La ecuación general obtenida para la remoción de carga bacteriana de la laguna facultativa:

$$K_b = (0.33571) - 0.03788(T) - 0.001151(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua

CO = Carga orgánica

Resultados estadísticos:

Coefficiente de correlación múltiple R 0.8943

Error estándar estimado 0.2146

Para decaimiento bacteriano se obtuvo un coeficiente de correlación del 86.69% y un error estimado del 18.97%, por lo que al igual que el decaimiento de carga orgánica en esta laguna, también se acepta el modelo obtenido para decaimiento bacteriano

Tabla 4.9.5. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración I.

hora	Q m ³ /día	Influyente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.	Kb día ⁻¹	Kb día ⁻¹
06:00	0.179	9.0 x 10 ³	80	0.338	0.338
08:00	0.183	1.6 x 10 ⁴	9.0 x 10 ²	0.456	0.456
09:00	0.179	9.0 x 10 ⁵	1.3 x 10 ²	2.620	*
10:00	0.183	3 x 10 ³	2.2 x 10 ³	0.032	0.032
11:00	0.188	1.6 x 10 ⁴	2.8 x 10 ³	0.239	0.239
12:00	0.179	1.6 x 10 ⁴	7.0 x 10 ²	0.504	0.504
13:00	0.179	1.6 x 10 ⁴	2.4 x 10 ²	0.778	0.778
14:00	0.174	7.0 x 10 ²	260	0.108	0.108
15:00	0.179	3.0 x 10 ²	50	0.220	0.220
16:00	0.179	1.6 x 10 ³	1.6 x 10 ²	0.320	0.320
17:00	0.183	1.6 x 10 ⁴	1.6 x 10 ⁴	-	-
18:00	0.183	8.0 x 10 ²	30	0.510	0.510
20:00	0.179	9.0 x 10 ³	9.0 x 10 ²	0.328	0.328
22:00	0.179	5.0 x 10 ³	2.8 x 10 ²	0.445	0.445
24:00	0.188	3.0 x 10 ⁴	3.0 x 10 ²	0.942	*
Promedio				0.599	0.356
Desviación Estándar				0.640	

* Valor descartado por estudio estadístico.

- Valor descartado por no haber remoción.

La ecuación general obtenida para la remoción de carga bacteriana de la laguna de maduración I:

$$K_b = (-1.03038) + 0.0029456(T) - 0.00055(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua
CO = Carga orgánica

Resultados estadísticos:

Coefficiente de correlación múltiple R 0.9062
Error estándar estimado 0.2205

La ecuación obtenida en la laguna de maduración I, para remoción de carga bacteriana, fue la que mejor correlación obtuvo contra las otras lagunas, teniendo un coeficiente de correlación del 90.62% y un error estándar del 22.05%. Por lo que el modelo es aceptado para esta laguna.

Tabla 4.9.6. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración II.

hora	Q m ³ /día	Influente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.	Kb día ⁻¹	Kb día ⁻¹
06:00	0.168	80	<2	1.096	1.096
08:00	0.172	9.0 x 10 ²	70	1.152	1.152
09:00	0.168	1.3 x 10 ²	<2	1.415	1.415
10:00	0.172	3.0 x 10 ³	4	4.120	*
11:00	0.177	1.6 x 10 ⁴	50	4.070	*
12:00	0.168	7.0 x 10 ²	3.0 x 10 ²	0.284	0.284
13:00	0.168	2.4 x 10 ²	80	0.369	0.369
14:00	0.164	50	30	0.109	0.109
15:00	0.168	50	50	-	-
16:00	0.168	1.6 x 10 ²	30	0.590	0.590
17:00	0.172	1.6 x 10 ⁴	30	4.490	*
18:00	0.172	30	13	0.168	0.168
20:00	0.168	9.0 x 10 ²	3.0 x 10 ²	0.388	0.388
22:00	0.168	2.8 x 10 ²	2.2 x 10 ²	0.066	*
24:00	0.177	3.0 x 10 ²	33	0.490	0.490
Promedio				1.340	0.606
Desviación Estándar				1.610	

* Valor descartado por estudio estadístico.

- Valor descartado por no haber remoción.

La ecuación general obtenida para la remoción de carga bacteriana de la laguna de maduración II:

$$K_b = (1.8590) - 0.3429(T) + 0.003849(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua

CO = Carga orgánica

Resultados estadísticos:

Coefficiente de correlación múltiple R 0.83436

Error estándar estimado 0.2835

En las lagunas de maduración I y II, se obtuvieron correlaciones del 83.44% y 28.35% respectivamente. Aceptando en estas dos lagunas la ecuación general, para remoción de carga bacteriana.

Tabla 4.9.7. Constante cinética de decaimiento bacteriano para la laguna de maduración III.

hora	Q m ³ /día	Influyente CF NMP/100 ml.	Efluente CF NMP/100 ml.	Kb día ⁻¹	Kb día ⁻¹
06:00	0.1824	<2	4	-	-
08:00	0.1872	70	80	-	-
09:00	0.1824	<2	17	-	-
10:00	0.1872	4	8	-	-
11:00	0.192	50	<2	0.788	0.788
12:00	0.1824	3.0 x 10 ²	30	0.930	*
13:00	0.1824	80	80	-	-
14:00	0.1776	30	<2	0.534	0.534
15:00	0.1824	50	<2	0.788	0.788
16:00	0.1824	30	<2	0.534	0.534
17:00	0.1872	30	<2	0.534	0.534
18:00	0.1872	13	50	-	-
20:00	0.1824	3.0 x 10 ²	50	0.650	0.650
22:00	0.1824	2.2 x 10 ²	1.3 x 10 ²	0.150	0.150
24:00	0.192	33	9	0.297	0.297
Promedio				0.578	0.53
Desviación Estándar				0.246	

* Valor descartado por estudio estadístico.

- Valor descartado por no haber remoción.

La ecuación general obtenida para la remoción de carga bacteriana de la laguna de maduración III es:

$$K_b = (2.1907) - 0.45544(T) + 0.002247(CO)$$

Donde: T = Temperatura agua
CO = Carga orgánica

resultados estadísticos:

Coeficiente de correlación múltiple R 0.8136
Error estándar estimado 0.1842

CAPITULO V
DISEÑO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DEL CEBETA

DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL CEBETA

5.1. DESCRIPCION DE LA PLANTA

El total de agua residual generado dentro de la granja cuenta con las siguientes características.

Datos de diseño:

$$Q = 5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{DBO} = 400 \text{ mg/l}$$

$$N_o = 1 \times 10^7 \text{ NMP/100 ml de CF}$$

$$\text{Temperatura de diseño} = 17.3^\circ\text{C}$$

$$\text{Tasa de evaporación} = 6.16 \text{ mm/d}$$

El efluente debe de contener $N_e < \text{de } 1000 \text{ CF por } 100 \text{ ml}$

De la misma forma que se realizó el diseño de la planta piloto, se realizó el diseño que se utilizará para tratar toda el agua generada dentro de las instalaciones del CEBETA.

A continuación se presentan los resultados generados utilizando las ecuaciones de diseño No. 1 y 7 además de las constantes cinéticas obtenidas. Se calculó una planta de tratamiento para un día generado de agua residual, el cual representa el volumen de 5.0 m^3 .

Tabla 5.1.1. Datos de diseño de las lagunas del CEBETA.

Laguna	Volumen m^3	TRH d	Área m^2	Altura m	Ancho m	Largo m
Laguna anaerobia	8.4	1.68	4.2	2.0	1.2	3.5
Laguna facultativa	68.4	13.68	45.6	1.5	3.9	11.7
1ª laguna de maduración	51.0	10.2	34	1.5	3.4	10.0
2ª laguna de maduración	15.0	3.0	10	1.5	1.8	5.5

Remoción de DBO_5 en la laguna anaerobia para la estación más fría = 54.60%
Remoción de DBO_5 en la laguna anaerobia para la estación más cálida = 62.20%

La lámina 5.1.1. muestra el diseño de las lagunas del CEBETA, con características reales de acuerdo a las necesidades de la misma.

El tiempo de residencia hidráulico es de 28.6 días y la concentración de DBO y de coliformes fecales a través de las lagunas en serie es como sigue:

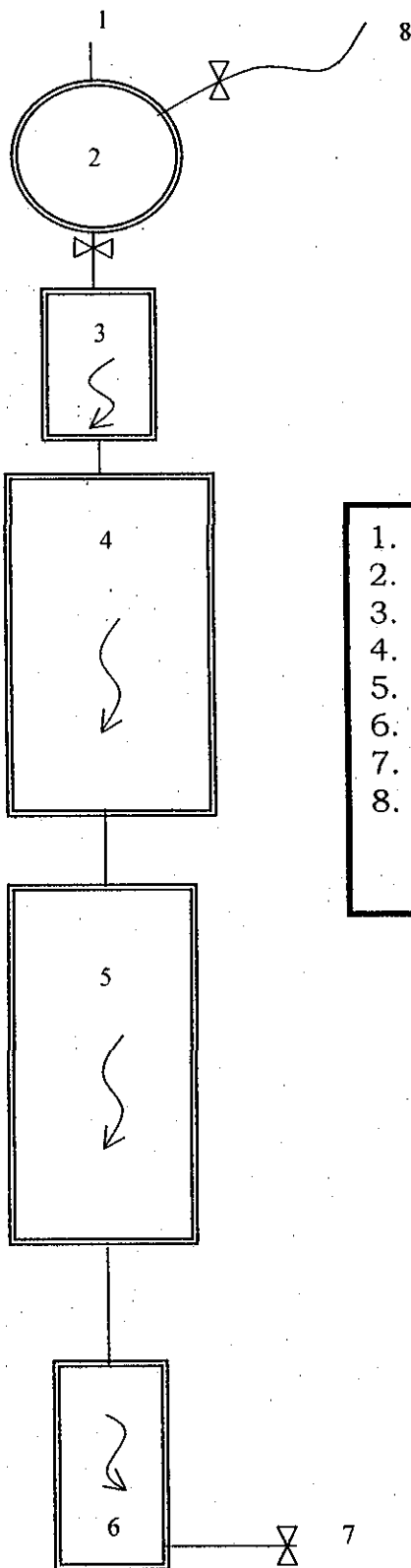
Tabla 5.1.2. Datos de DBO y coliformes fecales en las lagunas del CEBETA

Sitio	DBO_5 (mg/l)	Coliformes fecales/100 ml
Agua residual cruda	400	1.1×10^7
Efluente laguna anaerobia	182	2.8×10^6
Efluente laguna facultativa	125	1.6×10^5
Efluente 1ª laguna maduración	-	911
Efluente 2ª laguna maduración	-	228

El caudal del efluente es de $4.35 \text{ m}^3/\text{d}$, por lo que las pérdidas por evaporación son del 15 por ciento.

En la lámina 5.1.1. se presenta el diagrama de flujo del sistema de tratamiento del CEBETA, de acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 5.1.1.

Lámina 5.1.1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento del CEBETA.



- 1. Agua residual
- 2. Separador de lodos
- 3. Laguna Anaerobia
- 4. Laguna Facultativa
- 5. 1ª laguna aerobia
- 6. 2ª laguna aerobia
- 7. Efluente
- 8. Purga del lodo del sedimentador

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

Debido al alto contenido de sólidos en las aguas residuales de la industria porcícola, se requiere de una separación física, antes de su tratamiento por lagunas de estabilización.

La alta carga orgánica que presenta el agua residual de efluentes porcícolas después de la separación física, requiere de un proceso anaerobia para su degradación (reactor anaerobio de flujo ascendente o laguna anaerobia).

La remoción de materia orgánica en el sistema fue de 93% y de Coliformes Fecales del 99.999%. El efluente de la laguna de maduración I cumple con el valor especificado en la NOM ECOL-001-1996 (<1000 CF, NMP/100 ml) para su reúso de riego agrícola.

Las constantes cinéticas obtenidas fueron: Facultativa ($K= 0.15 \text{ días}^{-1}$ y $K_b= 0.3 \text{ días}^{-1}$), Maduración I ($K= 0.07 \text{ días}^{-1}$ y $K_b= 0.40 \text{ días}^{-1}$), Maduración II ($K= 0.09 \text{ días}^{-1}$ y $K_b= 0.99 \text{ días}^{-1}$) y Maduración III ($K_b= 0.26 \text{ días}^{-1}$). El número de datos utilizados fueron 16, los s que se aplicaron en el diseño del sistema lagunar.

Los resultados en este trabajo indican que el efluente del sistema lagunar en estudio cumple con la Norma Oficial Mexicana para su reúso en agricultura. De acuerdo con lo anterior el esquema recomendado para el tratamiento de efluentes porcícolas es el de separación física, laguna anaerobia, laguna facultativa y dos lagunas de maduración.

Las eficiencias de remoción obtenidas en este estudio son semejantes a las determinadas en el diseño del sistema lagunar (para el diseño se utilizó el modelo de flujo disperso).

Los efluentes de granjas porcícolas de traspatio (no tecnificadas), presentan cargas menores a la de las granjas tecnificadas debido al poco control en el manejo del agua, lo que ocasiona un mayor consumo de ésta en las actividades propias de la granja.

RECOMENDACIONES:

Es importante incluir un tratamiento de los lodos residuales obtenidos en el separador de sólidos, para que el trabajo sea integral incluyendo tratamiento de agua y lodos residuales.

Otro factor a considerar es el reuso de los desechos sólidos, esto se puede llevar a cabo utilizándolo como composta o para el uso de alimentos de ganado vacuno.

Aprovechar desniveles evitando con ello el uso de equipo eléctrico lo más posible, siendo así más atractivo económicamente para el porcicultor.

Realizar análisis de grasas y aceites además de nitrógeno y fósforo en la misma medida que los demás parámetros, para obtener resultados más confiables con respecto a estos parámetros.

BIBLIOGRAFÍA

Alwema, J. Carré and D. Minot. *Sedimentation and digestion on pond bottoms – An attempt to establish a short-term material balance*. Wat. Sci. Tech, 19 (12), 153-159. 1987.

APHA, AWWA, APCF, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 18 ed., Washington D.D., 1992, pp 5-9.

APHA, AWWA, APCF, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 19 ed., Washington D.D., 1995.

A. Rakkoed, S. Danteravanich and U. Puetpaiboon. *Nitrogen removal in attached growth waste stabilization ponds of wastewater from a rubber factory*. Wat. Sci. Tech, 40(1), 45-52. 1999.

A. Tilche, E. Bacilieri, G. Bortone, F. Malaspina, S. Piccinini and L. Stante. *Biological phosphorus and nitrogen removal in a full scale sequencing batch reactor treating piggyery wastewater*. Wat. Sci. Tech, 40 (1), 199-206. 1999.

Auvinet, G. *Diseño y construcción de Lagunas Artificiales. Análisis de algunos casos en México*. Curso de Geotecnia Ambiental, SMMS. 1998.

B. G. Yeoh. (1993). *Use of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) in upgrading small agroindustrial wastewater treatment plants*. Wat. Sci. Tech, 28 (10), 207-213.

Claudia J. Mendiola R., (1995). *Tesis "Determinación de constantes cinéticas de decaimiento bacteriano y carga orgánica para el diseño de Lagunas de Estabilización de distintas regiones"*. Instituto tecnológico de Durango.

Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. *Manejo y reciclaje de residuales porcinos*. Memorias, segundo seminario. Queretaro, 1997.

Escalante, E. V. *Determinación de constantes cinéticas de carga orgánica y bacteriana*. Curso-Taller, Instituto Tecnológico de Durango, unidad de Biotecnológica Industrial, 1998.

Fernández, A. C, I de la Torre, G. Carbonell, M.J. Muños y J.V. Tarazona del Area de Toxicología del Medio Ambiente, CISA-INIA, España. "Evaluación Toxicológica del riesgo Medioambiental ligado al vertido de los Purines (Excretas de Cerdo)." Desarrollo Porcicola, No. 35, 1996.

Moeller, Ch. Gabriela. *Criterios para la selección de Tecnologías de Tratamiento*. Curso Teórico- Práctico para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1998.

Gutiérrez-Vázquez, E., Peña, P.F. *Acceptance of fresh swine excreta by growing bulls. Journal of applied. Animal Research.* 5:143-152. 1994.

José R. Bicudo and Ivo F. Svoboda. (1995). *Intermittent aeration of pig slurry- farm scale experiments for Carbon and Nitrogen removal.* Wat. Sci. Tech. 32 (12), 83-90.

J. Górecki, G. Bortone and A. Tilche. (1993). *Anaerobic Treatment of the centrifuged solid fraction of piggery wastewater in an inclined plug Flow reactor.* Wat. Sci. Tech., 32(12), 107-113.

Hach Company, DR/2000, Spectrophotometer Handbook, U.S.A.

Instituto Mexicano de Tecnología del agua. *Curso teórico-práctico para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.* Jiutepec, Mor, México, 1998.

Mecazaga, C. *Morelos Espacio y tiempo, Historia y Geografía 3° Grado.* Editorial Trillas, México. 1997.

Manual de diseño de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro II. Proyecto 3° sección: Potabilización y tratamiento. Tema: Tratamiento, Subtema: Lagunas de Estabilización. CNA-IMTA. Ing. José Collí Misset, Dr. Howard D. Pearson y Ing. Mauricio Rico Martínez. Marzo 1994.

Mara D.D., y Pearson H.D., *Sequential batch fed effluents storage reservoirs: a new concept of wastewater treatment prior to unrestricted crop irrigation.* Water Science and Technology, 26(7/8), pp. 1458-1464, 1992.

Metcalt & Eddy, Inc. *Ingeniería Sanitaria: Tratamiento; Evaluación y Reutilización de Aguas Residuales.* Tomo 1 y 2. 1996. Ed. Mc. Graw Hill. 1997.

Middlebrooks E.J., Middlebrooks C.H., Reynolds J.H., Walters G.Z., Reed S.C. & George D.B. (1982). *Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading,* Macmillan, New York.

Middlebrooks E.J., Reed S.C., Pano A and Adams V.D. *Nitrogen Removal in Wastewater Stabilization Laggons.* 6th National Drinking Water and Wastewater Treatment Technology Transfer Workshop. Kansas City, Missouri. August 3-4, 1999.

Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-36, *Determinación de acidez total y alcalinidad total,* Dirección General de Normas, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, 1980.

Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-374, *Determinación de sólidos*. Dirección General de Normas, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, 1981.

Noyola, R. A., *Sistema Anaerobio Curso Instituto de Ingeniería*. 1998. UNAM, México.

Pérez E. R. "El proyecto: Control y utilización de aguas residuales y excretas provenientes de granjas porcinas (trabajo de campo). *Desarrollo Porcicola*. No. 24, 1996. Organo Oficial del Consejo Mexicano de Porcicultura.

Person H.W., Mara D.D., y Bartone C.R., Guidelines for the minimum evaluation of the performance of full scale waste stabilization ponds, *Water Research*, 21(9),pp. 1067-1075.

Person H.W., Mara D.D., Smallman D.J. y Mill S., Physicochemical parameters influencin faecal coliform survival in waste stabilization pond, *Water Science and Technology*, 19(12) pp. 134-152. 1987.

Polprasert, C., Kessomboon, S. And Kanjanaprapin, W. (1992). Pig wastewater treatment in water hyacinth ponds. *Wat. Sci. Tech.*, 25(9-11), 2381-2384.

R. Cintoli, B. Di Sabatino, L. Galeotti and G. Bruno. (1995). *Ammonium uptake by zeolite and treatment in UASB reactor of pigger wastewater*. *Wat. Sci. Tech.* 32 (12), 73-81.

R.H.R. Costa, W. Medry and C.C. Perdomo. *High-rate pond for treatment of piggery wastes*. *Wat. Sci. Tech*, 42 (10-11), 357-362. 2000.

R.J. Craggs, C.C. Tanner, J.P.S. Sukias and R.J. Davies-Colley. *Nitrification potential of attache biofilms in dairy farm waste stabilisation pond*. *Wat. Sci. Tech.* 42 (10-11) pp 195-202. 2000.

Tchobanoglous, G. *Ingeniería de Aguas residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Volumen 1. Ed McGraw-Hill. México, 1996.

Trujano, T. J. Iruagas, E.L. and Torres, B. Y. *Panorama general de la porcicultura nacional y participación de FIRA en su desarrollo*. Boletín Informativo, FIRA. México 254: 14-17.

Kee Kean Chin and Say Leong Ong. (1993). *A wastewater treatment system for an industrialized pig farm*. 28 (7), 217-222.

ANEXO



Foto 1. Hembras vientre de las instalaciones del Centro Bachillerato Técnico #8. El agua generada en el lavado de las mismas es la utiliza en el proyecto.



Foto 2. Vista del sistema de tratamiento de la planta piloto en donde se observa el sedimentador, laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración I.



Foto 3. Laguna facultativa, se puede observar el revestimiento utilizado en el sistema lagunar para evitar filtraciones.

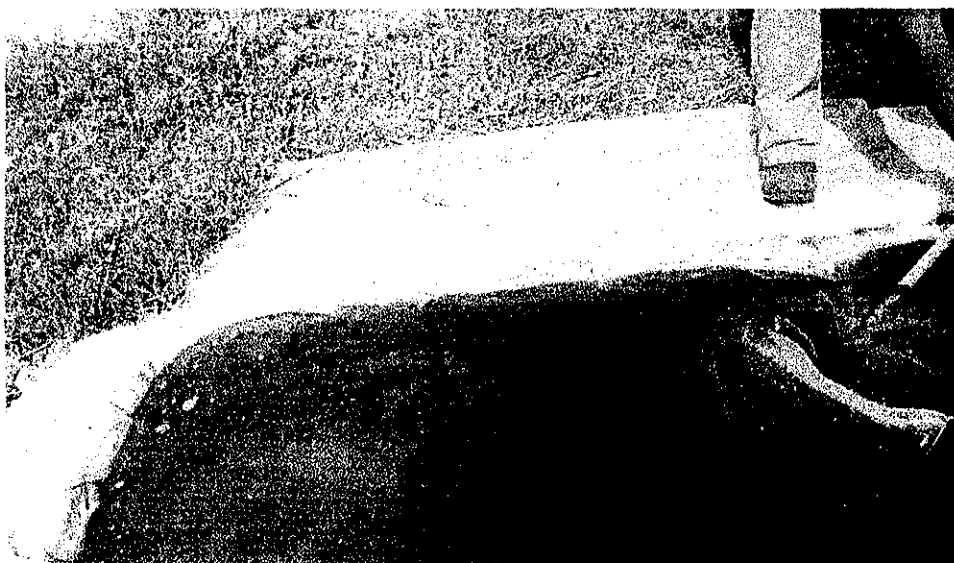


Foto 4. Laguna facultativa. Retiro de nata por medio de una cuchara de malla. Labor realizada diariamente.



Foto 5. Laguna de Maduración II, medición de profundidad de lodos. En esta laguna se observa una coloración verde intenso; debido a la presencia de gran cantidad de algas en la misma.

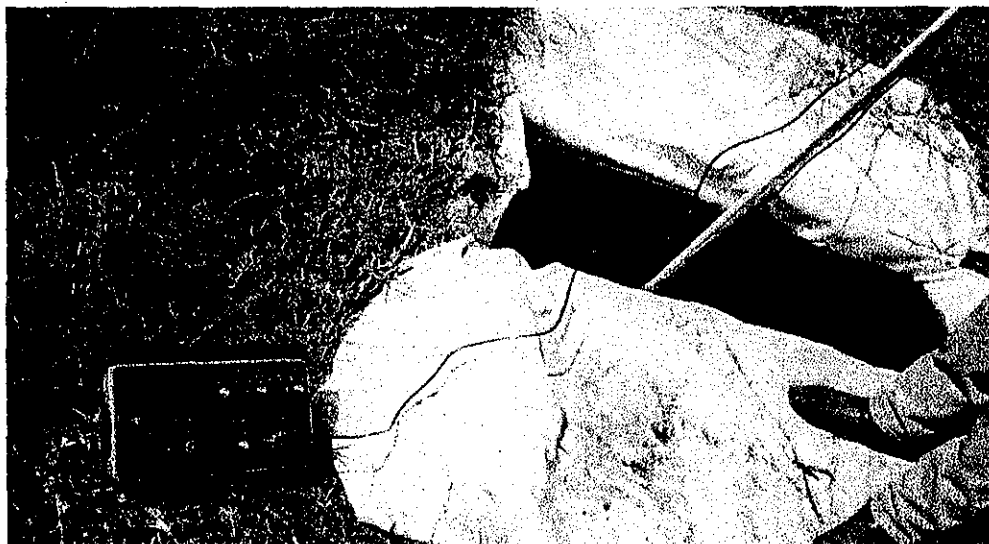


Foto 6. Laguna de maduración III. Medición de oxígeno disuelto realizado en todas las lagunas.