



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA
MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL**

Modesto Antonio Tala Sal

Asesorado por el Ing. Alfonso Estuardo Tock Escobar

Guatemala, marzo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA
MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MODESTO ANTONIO TALA SAL

ASESORADO POR EL ING. ALFONSO ESTUARDO TOCK ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha mayo de 2010.



Modesto Antonio Tala Sal

El Tejar Chimaltenango, 28 de Septiembre de 2011

Ing. Williams Álvarez Mejía.

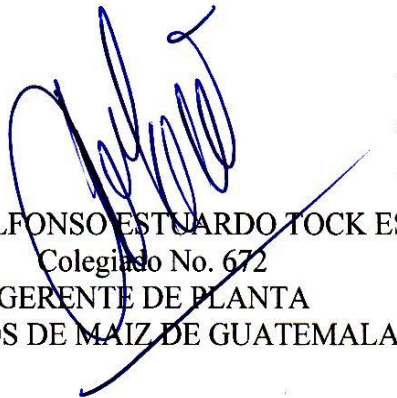
Director de Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su Despacho.

Estimado Ing. Álvarez:

El motivo de la presente es para notificarle que he tenido a la vista para revisión el informe final de tesis titulado **"Evaluación y propuesta de mejoras para el sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria manufacturera de harinas de origen vegetal"** desarrollado por el estudiante universitario de la carrera de ingeniería química, MODESTO ANTONIO TALA SAL, carné No. 2003-20517.

De dicha revisión le comunico que considero que dicho trabajo cumple con todos los requerimientos del mismo para continuar con los trámites requeridos.

Agradeciendo su atención a la presente.



Ing. Químico ALFONSO ESTUARDO TOCK ESCOBAR
Colegiado No. 672
GERENTE DE PLANTA
DERIVADOS DE MAIZ DE GUATEMALA S.A.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Centroamérica
Teléfono directo: (502) 2418-9118 PBX: 2418-8000 extensión 1599 Extensión 86214

Guatemala, 25 de Octubre de 2011
Ref.EIQ.TG.220.2011

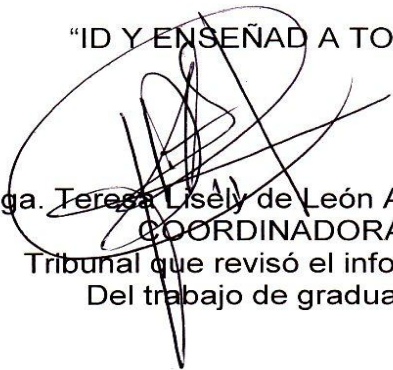
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-107-2010-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de **INGENIERO QUÍMICO** al estudiante universitario, **Modesto Antonio Tala Sal**, identificado con carné No. **2003-20517**, titulado: **“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL.”**, el cual ha sido asesorado por el **Ingeniero Químico Alfonso Tock Escobar**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **TALA SAL**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.050.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **MODESTO ANTONIO TALA SAL** titulado: "**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía,
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo de 2012

Cc: Archivo
WGAM/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 116.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE HARINAS DE ORIGEN VEGETAL**, presentado por el estudiante universitario **Modesto Antonio Tala Sal**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 8 de marzo de 2012.

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

**Mis abuelos
Ventura y Ángela**

Porque siempre están conmigo, desde su eterno descanso, que me guían siempre hacia el camino del éxito.

**Mis padres
María Luisa Sal y
Florencio Tala**

Les agradezco por la vida, dedicación, amor, paciencia, consejos y por ser quien soy.

**Mis hermanos
Ana, Julia, Aracely
y Fidelino**

Gracias porque siempre han estado atentos de lo que hago, y siempre me inducen a hacer lo mejor, siempre trabajaremos en equipo.

Mis maestros

Por el conocimiento otorgado y por despertar en mí la curiosidad de poder crecer en esta vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por elegirme estar en este mundo tan maravilloso y por el éxito concedido.
Mis padres	Por todo el amor, comprensión y apoyo incondicional, durante estos años de vida y estudio.
Al pueblo de Guatemala	Por financiar mi educación primaria y superior.
Ana, Julia, Aracely y Fidelino	Por todo el apoyo dado para seguir adelante en mis estudios.
Ing. Alfonso Tock	Por su fino apoyo y asesoría en la realización de este trabajo de graduación.
Ing. Héctor Santisteban	Por su participación en la ejecución del proyecto.
Ing. Jorge Mario Estrada	Por la calidad de docente y dominio del tema.
Ing. Giovanni Tavico	Por la revisión de este trabajo de graduación.
Mis amigos	Benito Herrera, Jorge Jordan Türk, Justo Mendoza, José Ortiz, por esa llama de amistad que nunca se apagará.

**A la Universidad San
Carlos de Guatemala**

Por existir y otorgarme el valioso conocimiento a nivel superior.

**Al Centro Educativo
Técnico Laboral Kinal**

Por otorgarme los primeros conocimientos básicos, y el boleto para una educación superior.

**A la Empresa Derivados
de Maíz de Guatemala,
S.A. Grupo Maseca**

Por abrirme la puerta, para realizar mi trabajo de graduación, y completar mi educación superior.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS / HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Generación de agua residual.....	5
2.2. Laguna de estabilización	6
2.2.1. Proceso aerobio	9
2.2.2. Proceso anaerobio	10
2.2.3. Procesos en las lagunas de estabilización facultativas... 11	
2.3. Sistema lagunar.....	12
2.3.1. Mínimo manejo de lodos	13
2.3.2. Complejidad del proceso y requisitos de operación y mantenimiento.....	14
2.3.3. Estabilidad y retención de procesos.....	15
2.4. Procesos básicos en una laguna convencional	17
2.5. Clasificación de los tipos de lagunas	18
2.5.1. Lagunas anaerobias.....	20
2.5.2. Lagunas aerobias.....	24
2.5.3. Lagunas facultativas	25

2.5.4.	Lagunas aireadas	28
2.6.	Secuencia del flujo de una batería de lagunas	30
2.6.1.	Lagunas en serie	30
2.6.2.	Lagunas en paralelo	31
2.6.3.	Lagunas distribuidas en paralelo y en serie	32
2.7.	Ventajas y desventajas en la utilización de las lagunas de estabilización	34
2.8.	Sistemas de tratamientos	35
2.8.1.	Tratamiento primario	36
2.8.1.1.	Cámara de arena	38
2.8.1.2.	Sedimentación	39
2.8.1.3.	Coagulación	39
2.8.1.4.	Floculación	41
2.8.1.5.	Flotación	41
2.8.1.6.	Digestión	42
2.8.1.7.	Deseccación	42
2.8.2.	Tratamiento secundario	43
2.8.2.1.	Fundamentos de los procesos biológicos	44
2.8.2.2.	Tipos de microorganismos involucrados	46
2.8.2.3.	Lodos activados	47
2.8.2.4.	Filtro de goteo	50
2.8.2.5.	Fango activado	50
2.8.2.6.	Estanque de estabilización o laguna	50
2.8.3.	Tratamiento terciario	51
2.9.	Características del sistema de tratamiento de aguas residuales ..	53
2.9.1.	Pretratamiento	53
2.9.2.	Lagunas de estabilización	56
2.9.3.	Disposición final del efluente	58

2.10.	Identificación de los problemas de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	59
2.10.1.	Tamizador	59
2.10.2.	Fosa de sedimentación primaria	60
2.10.3.	Fosa de sedimentación secundaria.....	61
2.10.4.	Canal trapezoidal	63
2.10.5.	Lagunas de estabilización anaeróbicas	64
2.10.5.1.	Laguna primaria	65
2.10.5.2.	Laguna secundaria.....	66
2.10.5.3.	Laguna terciaria.....	67
2.10.5.4.	Laguna cuaternaria	68
2.10.5.5.	Laguna quinquenaria.....	69
2.10.5.6.	Fosa final.....	70
2.10.5.7.	Condiciones de las estructuras de entrada, interconexión y salida.....	71
2.10.5.8.	Coloraciones anormales.....	75
2.11.	Medidas de corrección y propuestas de mejoras para el sistema de tratamiento de aguas residuales.....	75
2.11.1.	Separación de sólidos gruesos a través de un tamizador	75
2.11.2.	Colocación de una trampa de sólidos	77
2.11.3.	Uso de rejillas en el canal trapezoidal	78
2.11.4.	Revestimiento de los taludes	79
2.11.5.	Medidores de caudal.....	83
2.11.6.	Arbustos alrededor de las lagunas de estabilización	84
2.11.7.	Acumulación de natas y materiales flotantes	86
2.11.8.	Malos olores.....	87
2.11.9.	Unificación de lagunas para aumentar el tiempo de retención	88

2.11.10.	Aireación.....	88
2.11.11.	Tratamiento químico	89
2.11.12.	Sedimentación secundaria.....	90
2.12.	Operación y mantenimiento.....	92
2.12.1.	Conceptos generales	92
2.12.2.	Medición de caudal.....	93
2.12.3.	Control de niveles de agua	94
2.12.4.	Vertederos de demasías.....	94
2.12.5.	Ajustamiento del nivel de descarga con la compuerta de fondo de salidas.....	95
2.12.6.	Detecciones sensoriales, olores y colores	95
2.12.7.	Medición de la profundidad de lodos	96
2.12.8.	Mantenimiento rutinario	97
2.12.8.1.	Tamices	97
2.12.8.2.	Canal trapezoidal.....	98
2.12.8.3.	Remoción de natas y sólidos flotantes.....	100
2.12.8.4.	Céspedes, vegetación y malezas	101
2.12.8.5.	Mosquitos, moscas, roedores y otros animales	102
2.12.8.6.	Taludes	102
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	103
3.1.	Definición de variables	104
3.1.1.	Demanda bioquímica de oxígeno	104
3.1.2.	Demanda química de oxígeno	104
3.1.3.	Grasas y aceites	104
3.1.4.	Nitrógeno	105
3.1.5.	Fósforo.....	105
3.1.6.	Sólidos en suspensión.....	105

3.1.7.	Temperatura.....	106
3.1.8.	Potencial de hidrógeno	106
3.1.9.	Color	106
3.1.10.	Sólidos sedimentables	107
3.1.11.	Materia flotante	107
3.1.12.	Caudal.....	107
3.2.	Delimitación de campo de estudio	108
3.3.	Recursos humanos disponibles	108
3.4.	Recursos materiales disponibles	109
3.4.1.	Equipo y cristalería.....	109
3.4.2.	Herramientas.....	109
3.4.3.	Material de escritorio.....	110
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	110
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	111
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	112
3.8.	Análisis estadístico	112
4.	RESULTADOS	119
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	163
	CONCLUSIONES	179
	RECOMENDACIONES.....	181
	BIBLIOGRAFÍA.....	183
	APÉNDICE.....	185
	ANEXOS.....	203

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	La interacción de bacterias y algas en una laguna natural.....	7
2.	Entrada y salida del afluente y efluente tratado en una laguna de estabilización.....	9
3.	Diagrama de una laguna anaerobia	20
4.	Lagunas anaerobias en paralelo, en Sierra Fuentes, Cáceres.....	23
5.	Diagrama de una laguna facultativa	26
6.	Laguna aireada de mezcla completa.....	29
7.	Sistema lagunar en serie.....	30
8.	Sistema lagunar en paralelo.....	31
9.	Diagrama de lagunas en paralelos y en series.....	33
10.	Diagrama de los tipos de sistema de tratamiento del agua residual	36
11.	Comparación de sistemas de tratamiento biológico, aeróbico y anaeróbico	44
12.	Mecanismo de la depuración biológica de aguas residuales.....	45
13.	Esquema del proceso de lodos activados de flujo continuo	49
14.	Tratamientos terciarios a) ozonización y b) filtro de carbón activado	52
15.	Separación de los sólidos gruesos del agua residual.....	54
16.	Fosa de sedimentación secundaria, nueva etapa de separación de sólidos gruesos	55
17.	Recorrido del agua residual, a través de un canal trapezoidal	56
18.	Sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de cinco lagunas de estabilización conectadas en series.....	57

19.	Agua residual conducida hacia la quebrada La Chocoyera, El Tejar municipio de Chimaltenango.....	58
20.	Tamizador en mal estado.....	59
21.	Bombeo del agua residual, hacia el tamizador, el agua libre de sólidos pasa a la siguiente sección de la fosa de sedimentación	61
22.	Fosa de sedimentación secundaria	62
23.	Canal trapezoidal, problemas de maleza y material flotante.....	63
24.	Primera laguna de estabilización anaerobia	65
25.	Laguna de estabilización secundaria anaerobia	66
26.	Condiciones físicas de la laguna terciaria.....	67
27.	Presentación física de la laguna de estabilización cuaternaria	68
28.	Quinta laguna de estabilización	69
29.	Condiciones físicas de la fosa final	70
30.	Entrada del agua residual a la primera laguna.....	71
31.	Interconexión de la primera a la segunda laguna	72
32.	Interconexión de la segunda a la tercera laguna	72
33.	Interconexión de la tercera a la cuarta laguna	73
34.	Interconexión de la cuarta laguna a la quinta.....	73
35.	Salida del agua residual en la última laguna.....	74
36.	Condiciones desfavorable del tamizador	76
37.	Colocación de la trampa de sólidos en la parte final.....	77
38.	Punto propuesto de la colocación de la reja	79
39.	Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la primera laguna	80
40.	Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la segunda laguna	81
41.	Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la tercera laguna	81

42.	Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la cuarta laguna.....	82
43.	Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la quinta laguna	82
44.	Diseño físico de las compuertas y vertederos en cada entrada de cada laguna.....	84
45.	Aumento de carga orgánica, por la acumulación de hojas de árboles, en la primera, segunda y tercera laguna	85
46.	Laguna de estabilización con un nivel de agua, no apropiada	94
47.	Acumulación de sólidos en el tamizador	98
48.	Material flotante en el canal trapezoidal	99
49.	Acumulación de natas y malezas en la superficie de la laguna primaria	100
50.	Crecimiento de la maleza en las orillas de la quinta laguna	101
51.	Erosión en los taludes de la cuarta laguna.....	102
52.	Procesos para la recolección de datos.....	111
53.	Demanda química de oxígeno en mg/L, para los diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes	155
54.	Demanda bioquímica de oxígeno en mg/L para los diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes	155
55.	Sólidos sedimentables en cm ³ /L, para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes	156
56.	Sólidos en suspensión en mg/L, para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes	156
57.	Grasas y aceites en mg/L para cada punto de muestreo, en diferentes meses	157
58.	Nitrógeno en mg/L para cada punto de muestreo, en diferentes meses.....	157

59.	Fósforo en mg/L para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes	158
60.	Color en unidades Platino-Cobalto, para cada punto de muestreo, en diferentes meses.....	158
61.	Temperatura en °C, para diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes.....	159
62.	Potencial de hidrógeno adimensional, para cada punto de muestreo, en diferentes meses.....	159
63.	Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 02 y 03 de marzo de 2010	160
64.	Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 06 y 07 de septiembre de 2010.....	160
65.	Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 25 y 26 de enero de 2011	161

TABLAS

I.	Cantidades de lodos producidos por varios procesos.....	14
II.	Complejidad y requisitos de capacitación y monitoreo	15
III.	Retención de los procesos de tratamiento	16
IV.	Tratamientos físicos	37
V.	Tratamientos fisicoquímicos.....	38
VI.	VARIABLES DE CONTROL EN ESTUDIO.....	103
VII.	Determinación de la composición del agua residual, primer muestreo, marzo 2010	119
VIII.	Determinación de la temperatura y potencial de hidrógeno, como valores puntuales del primer muestreo, marzo 2010	120
IX.	Medición de caudal en la última laguna, marzo 2010	120
X.	Carga de demanda bioquímica de oxígeno, en kg/día, marzo 2010....	124

XI.	Valores estadísticos de los parámetros en estudio	125
XII.	Eficiencia en remoción para el sistema de tratamiento de aguas residuales, para el mes de marzo de 2010	126
XIII.	Valores promedios de los parámetros, cumplimiento con el artículo #20	127
XIV.	Valores de los parámetros que cumplen con el artículo #20	128
XV.	Valores de los parámetros para el mes de septiembre de 2010, segundo muestreo.....	130
XVI.	Valores puntuales de las variables de temperatura y potencial de hidrógeno correspondiente para el segundo muestreo, mes de septiembre de 2010.....	131
XVII.	Resultado de la medición de caudal en la última laguna, mes de septiembre de 2010.....	132
XVIII.	Carga de demanda bioquímica, valores para el segundo muestreo, septiembre de 2010.....	135
XIX.	Valores estadísticos correspondientes para el segundo muestreo, septiembre de 2010.....	136
XX.	Eficiencia en remoción, para el sistema de tratamiento de aguas residuales, segundo muestreo correspondiente para el mes de septiembre de 2010.....	137
XXI.	Valores promedios de los parámetros, cumplimiento con el artículo #20	138
XXII.	Valores de las variables que cumplen con el artículo #20.....	140
XXIII.	Valores de la composición del agua residual, determinados para el mes de enero de 2011, como tercer muestreo	141
XXIV.	Valores puntuales de las variables temperatura y potencial de hidrógeno, correspondiente para el mes de enero de 2011	142
XXV.	Valores obtenidos de la medición de caudal, enero 2011, como tercer muestreo	143

XXVI.	Valores de la carga de demanda bioquímica, correspondiente para el mes de enero de 2011, en el último punto de descarga del agua residual	147
XXVII.	Valores estadístico para las variables en estudio, mes de enero de 2011	148
XXVIII.	Eficiencia en remoción para el sistema de tratamiento de aguas residuales, enero 2011	149
XXIX.	Valores promedios para los parámetros en estudio enero 2011, cumplimiento con el artículo #20.....	150
XXX.	Parámetros que cumplen con el artículo #20, enero 2011.....	152
XXXI.	Carga de demanda bioquímica de oxígeno, generado por la industria en los meses de muestreo	153
XXXII.	Índice de biodegradabilidad, para el sistema tratamiento de aguas residuales, a través de las lagunas de estabilización	154

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
EG	Carga del ente generador correspondiente, en kilogramos/día.
C_v	Coefficiente de variación de pearson (%).
μ	Dato experimental calculado para cada variable.
\bar{X}	Datos promedios de cada variable.
μ_0	Dato teórico de ciertos parámetros en estudio.
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) a los cinco días.
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/L).
s	Desviación estándar.
E_f	Eficiencia en remoción (%).
X_i	Es el dato i, obtenido de cada variable.
N	Es el número de datos obtenidos de cada variable.
t_{cr}	Es el valor de la curva normal de distribución para una confianza del 95%.
F	Fósforo (mg/L).
H_a	Hipótesis alterna.
H_0	Hipótesis nula.
DBO₅/DQO	Índice de biodegradabilidad del agua residual.
N	Nitrógeno (mg/L).

NMP CF/100cm³	Número más probable de coliformes fecales, en 100 centímetros cúbicos.
pH	Potencial de hidrógeno.
ISO	Sistema Internacional de Normas.
SBF	Sistemas con biomasa fija.
SBS	Sistemas con biomasa suspendida.
SST	Sólidos suspendidos totales.
SS	Sólidos en suspensión (mg/L).
TCR	Temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.
TRH	Tiempo de retención hidráulica (días).
T	Valor experimental de la curva normal de distribución.

GLOSARIO

Afluente	El agua captada por un ente generador.
Aguas residuales	Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Carga	El resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.
Contaminación	Es la alteración de la calidad física, química, biológica y radioactiva del cuerpo hídrico receptor.
Cuerpo de agua	Masa de agua estática o en movimiento permanente o intermitente, como: ríos, quebradas, lagos, lagunas, fuentes, acuíferos, mares y embalses.
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras, y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

Demanda bioquímica de oxígeno	Cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua, a los cinco días.
Demanda química de oxígeno	Cantidad de oxígeno necesario para estabilizar químicamente sustancias de origen orgánico e inorgánico, presente en el agua.
Descarga	Acción de depositar un vertido en un cuerpo receptor.
Depuración de las aguas residuales	Es un proceso que persigue eliminar en la mayor cantidad posible la contaminación que lleva un vertido antes de que éste incida sobre un cauce receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural.
Efluente	Las aguas residuales descargadas por un ente generador.
Estabilización	Oxidación y sedimentación de las aguas residuales.
Límite máximo permisible	El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

Modelo de reducción progresiva	El régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado en distintas etapas.
Monitoreo	El proceso mediante el cual se obtiene, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes de aguas residuales para reuso.
Muestra	La parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
Muestras compuestas	Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales.
Muestra simple	La muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.
Parámetro	La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico.

**Tratamiento de aguas
residuales**

Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

Vertido

Efluente que proviene de un establecimiento doméstico, industrial, comercial, agropecuario y entre otros.

RESUMEN

Este estudio, se llevó a cabo en la industria manufacturera de harinas de maíz nixtamalizado a efecto de presentar un informe detallado de la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales. El estudio, tiene como principal objetivo realizar una cuantificación del volumen de agua residual y de la concentración de los residuos, mediante el análisis de parámetros físicos y químicos que permitan determinar la carga de contaminantes promedio de las aguas residuales. Se evaluó la planta de tratamiento, para visualizar los factores físicos, de operación y mantenimiento que influyen negativamente en la calidad del efluente, así como las variaciones de las principales características fisicoquímicas en diferentes épocas del año.

Basándose en los resultados se propusieron mejoras al sistema con los cuales se obtuvieron resultados positivos, principalmente en la reducción de materia flotante y sólidos en suspensión, características importantes para lograr el cumplimiento de la etapa No. 1 del Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos contemplados en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

OBJETIVOS

General

Evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria manufacturera de harinas de origen vegetal, y proponer las mejoras que más se adapte para el sistema actual, a fin de descargar un efluente de mayor calidad.

Específicos

1. Efectuar una inspección visual para determinar las condiciones del sistema actual de tratamiento de aguas residuales.
2. Captar muestras de aguas residuales en épocas lluviosas y secas (marzo, septiembre y enero), para evaluar los principales parámetros de calidad fisicoquímica a la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. Realizar una comparación de los valores obtenidos de los parámetros de la planta de tratamiento de aguas residuales, con los valores máximos permitidos establecidos por el Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.
4. Determinar los factores que influyen en la calidad del efluente, tanto físicos como operación y mantenimiento, para proponer las mejoras en cuanto a la calidad del efluente tratado que se descarga actualmente.

HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación

El sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización en la industria manufacturera de harinas de origen vegetal, remueven significativamente la cantidad de concentración de materia orgánica, cuando trabajan en buenas condiciones de administración, operación y mantenimiento y por lo tanto, las características del efluente tratado no causa contaminación al medio ambiente.

Hipótesis nula

El sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización en la industria manufacturera de harinas de origen vegetal, no remueven significativamente la cantidad de concentración de materia orgánica, en la calidad del afluente y efluente tratado, y por lo tanto causa contaminación al medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

En la industria manufacturera de harinas de origen vegetal, se lleva a cabo el proceso de cocción del maíz, asimismo, durante el proceso se genera cantidades considerables de agua residual como desecho principal, por el cual se obtiene agua de diferentes características, que contiene contaminantes físicos y químicos, que representan peligros para el ambiente humano y natural.

De esta manera el volumen de desecho que se genera es relativamente alto, es por ello que se debe considerar como un problema mayor, ya que actualmente la calidad fisicoquímica del efluente tratado no cumple con los límites máximos permisibles del reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Este estudio se enfocará principalmente, a partir de una evaluación para el sistema de tratamiento de aguas residuales que actualmente existe en la empresa, por medio de análisis de campo y de laboratorio, para determinar los factores que influyen en la calidad fisicoquímica del efluente.

Por el cual se tomarán muestras durante diferentes épocas del año, que comprenden épocas secas y lluviosas (marzo, septiembre y enero), para la determinación de los siguientes parámetros en estudio: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión, sólidos sedimentables, temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, nitrógeno, fósforo, materia flotante, color y caudal.

Desde luego se realizará una evaluación que contempla una caracterización de las aguas residuales, para la determinación de las características físicas y químicas del efluente, a partir de los principales parámetros en estudio, anteriormente ya mencionados.

Con respecto a los resultados obtenidos de los parámetros medidos en la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizará una comparación con los valores que establece la ley guatemalteca, para tomar medidas correctivas. Y de esta manera se propondrán modificaciones al sistema actual, con el objeto de mejorar la calidad del efluente, así como descargar un vertido con características fisicoquímicas aceptadas.

La escuela de Ingeniería Química preocupada en aportar soluciones en el aprovechamiento de los recursos hídricos y en fomentar tecnologías de bajo costo, se ha propuesto la meta de realizar investigación aplicada con estudios científicos utilizando todas las herramientas del perfil del egresado de dicha carrera, dirigidas en este caso específico al estudio de evaluación de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales, de una industria manufacturera de harinas de maíz.

1. ANTECEDENTES

La planta de producción de harinas de maíz de origen vegetal, es una planta procesadora de alimentos para consumo humano que se dedica a la fabricación de harinas de maíz para la elaboración de tortillas y productos similares.

Desde luego es una fábrica que se dedica también a la compra, transformación y comercialización de productos alimenticios derivados del maíz, específicamente la producción de harina de maíz de un alto nivel de calidad, empresa que está certificada por la norma ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004. Es una industria que genera un nivel alto de volumen de aguas residuales, a través del proceso de cocción de la materia prima que es el maíz.

La empresa fue fundada en 1994 se localiza en el kilómetro 50.5 de la carretera CA-1, que conduce al Occidente de la República municipio de El Tejar departamento de Chimaltenango, República de Guatemala. En este mismo año fue construido el sistema de tratamiento de residuos, el sistema de tratamiento de aguas residuales consiste en dos formas, dependiendo de la procedencia de la misma.

La disposición del agua residual del proceso, se lleva a cabo en diferentes procedimientos, mediante un canal rectangular, el efluente es conducido a un tanque sedimentador de sólidos, que pasa posteriormente a un removedor de sólidos en donde se separan los sólidos gruesos, estos se separan y se entierran. Por medio de un canal trapezoidal, el efluente es conducido a 5 lagunas de estabilización en serie, en donde se realiza el mecanismo de depuración, al final el efluente se descarga hacia una quebrada en la parte sur del terreno en el barranco llamado La Chocoyera donde corren los drenajes de El Tejar y Chimaltenango. Esta quebrada lleva los efluentes hacia el río Guacalate.

Con respecto a las aguas residuales provenientes del uso doméstico son conducidas a una fosa séptica ubicada en el terreno con la finalidad de remover los sólidos y una pequeña remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de la materia orgánica y el efluente de la misma es succionado a cierto período de tiempo, en forma mecánica, cabe mencionar que el agua residual que proviene de las actividades domésticas, no es conducido hacia el barranco ya mencionado.

En dicho año se realizaron las primeras caracterizaciones, en donde el agua residual evaluada presentaba niveles altas de concentraciones de materia orgánica. Específicamente se observaban resultados elevados de sólidos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y pH, con estos parámetros analizados se observaba que el funcionamiento de las lagunas como sistema de tratamiento de aguas residuales, eran ineficientes, asimismo descargaban el efluente tratado al cuerpo receptor, con características no aceptadas.

Por tanto, con el reglamento que existía en ese tiempo y con el presente reglamento establecido por la ley guatemalteca en ningún momento la industria cumplía con la reducción de concentración de materia orgánica que a su vez generaba un nivel alto de contaminación, a través de grandes volúmenes de agua residual que se descargaba diariamente, a partir de la cocción del maíz.

Actualmente en Guatemala existe un reglamento que establece los valores máximos permitidos sobre la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores, así como las fechas de cumplimiento sobre la reducción de la carga orgánica establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, aplicado a cualquier ente generador en sus distintas operaciones.

Cabe mencionar que hoy en día, existen varios métodos de tratamiento de aguas residuales, para descargar un efluente de mayor calidad, y que se adapte a los valores establecidos por la ley para reducir el nivel de contaminación, así como aprovechar el recurso hídrico. Dentro del perfil del egresado de la carrera de Ingeniería Química, se encuentra realizar el estudio sobre la evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización y al mismo tiempo proponer las mejoras que más se adapten a las condiciones actuales del sistema.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generación de agua residual

Actualmente las industrias agroindustriales tanto locales como internacionales trabajan arduamente en la mejora continua en cuanto a los sistemas de tratamientos de aguas residuales y de esta manera descargan el agua residual de mayor calidad para su reutilización, ya que según estudios científicos el sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina.

“Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo, se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas, se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles. El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental.”¹

Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza.

¹ KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. p. 567.

No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación, la tercera columna del progreso, la protección del medio ambiente.

Por el cual las empresas que se dedican a procesar diferentes tipos de productos y a través de sus procesos generan desechos orgánicos sólidos y líquidos, están comprometidos a crear diferentes planteamientos para la disposición de los residuos, y el diseño de métodos y tecnologías para tratarlos.

2.2. Laguna de estabilización

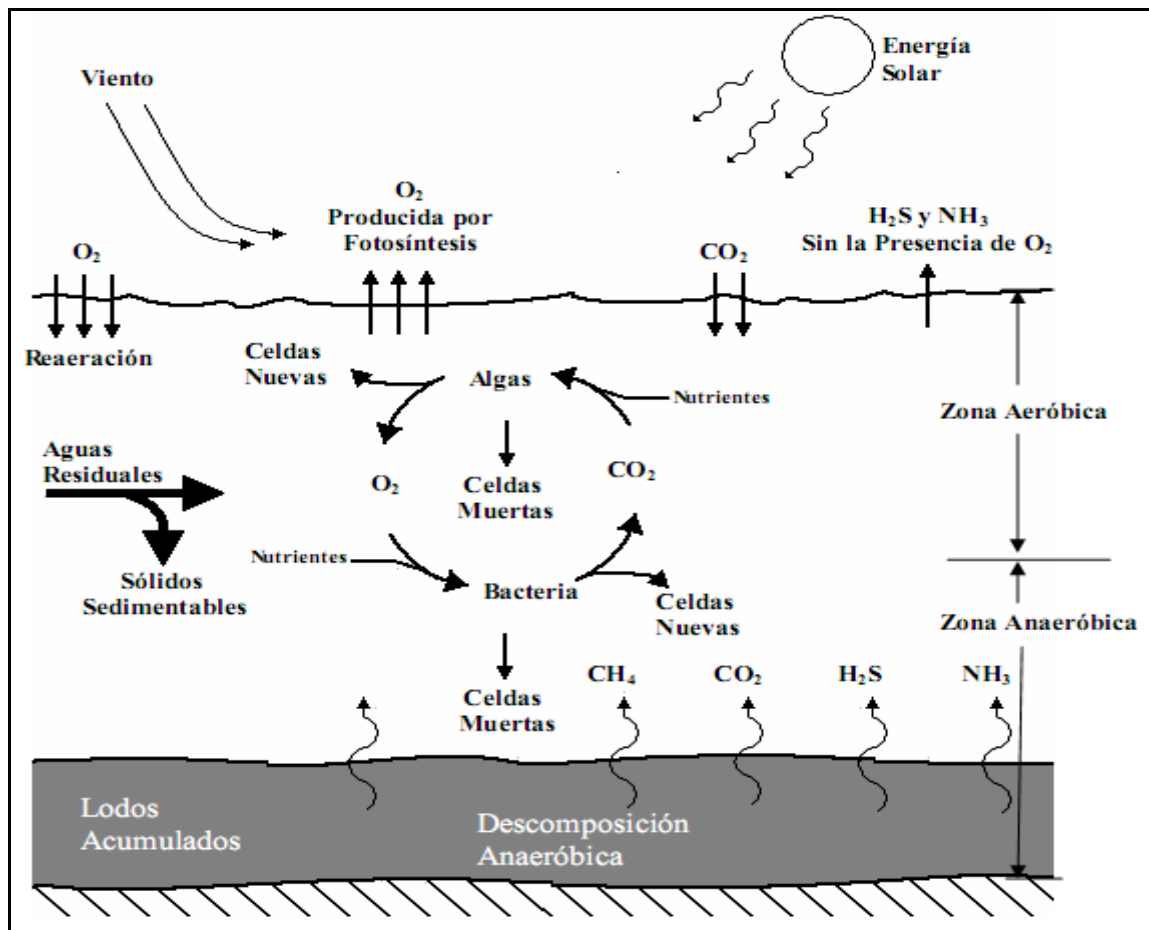
Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. “Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (2 a 4 m) y con períodos de retención relativamente grandes (por lo general de varios días). Por el cual son lagunas construidas de tierra diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas) como se muestra en la figura 1.”²

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realizarán en las mismas, en forma espontánea, un proceso conocido como autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas, con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable.

² MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 123.

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes, son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), que caracteriza la carga orgánica; y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100ml), que caracteriza la contaminación microbiológica. Además tienen importancia los sólidos totales sedimentables, en suspensión y disueltos.

Figura 1. La Interacción de bacterias y algas en una laguna natural



Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 230.

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman secundarias; y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, quinquenarias, etc. A las lagunas de grado más allá del segundo también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento.

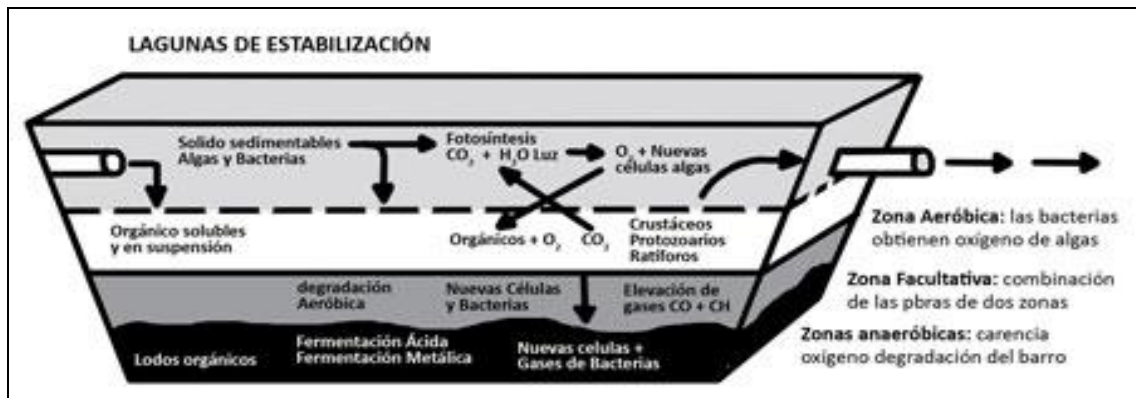
Siempre se deben construir por lo menos dos lagunas primarias, (en paralelo) con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de los lodos de la otra.

“El proceso que se lleva a cabo en las lagunas facultativas, es diferente del que ocurre en las lagunas anaerobias. Sin embargo, ambos son útiles y efectivos en la estabilización de la materia orgánica y en la reducción de los organismos patógenos originalmente presentes en las aguas residuales.”³ La estabilización de la materia orgánica se llevará a cabo a través de la acción de organismos aerobios cuando hay oxígeno disuelto; éstos últimos aprovechan el oxígeno originalmente presente en las moléculas de la materia orgánica que están degradando. Existen algunos organismos con capacidad de adaptación a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

La estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales se puede realizar en forma aeróbica o anaeróbica según haya o no la presencia de oxígeno disuelto en el agua.

³ STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 200.

Figura 2. **Entrada y salida del afluente y efluente tratado en una laguna de estabilización**



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 68.

2.2.1. Proceso aerobio

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se llevará a cabo, en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan bacterias aerobias o facultativas, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno, que facilita la actividad de las bacterias aerobias. "Por el cual existe una simbiosis entre bacteria y algas, que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica, el desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo, con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales."⁴

A través de estos procesos bioquímicos en presencia de oxígeno disuelto las bacterias, logran el desdoblamiento aerobio de la materia orgánica, el oxígeno consumido es parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).

⁴ MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 153.

“Las algas logran, a través de procesos inversos a los anteriores, en presencia de la luz solar, utilizar los compuestos inorgánicos para sintetizar materia orgánica, que incorporan a su protoplasma. A través de este proceso, conocido como fotosíntesis, las algas generan gran cantidad de oxígeno disuelto.”⁵

Como resultado final, en el estrado aerobio de una laguna facultativa, se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica putrescible (muerta) originalmente presente en las aguas residuales, la cual se transforma en materia orgánica (viva) incorporada protoplasma de las algas. En las lagunas de estabilización el agua residual no se clarifica como en las plantas de tratamiento convencional pero se estabiliza, pues las algas son materia orgánica viva que no ejerce DBO₅.

2.2.2. Proceso anaerobio

Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos pueden originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor, que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas, y el oxígeno disuelto y que la laguna se torne de color gris oscuro.

El desdoblamiento de la materia orgánica sucede en una forma más lenta, y se generan malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno. “En la etapa final del proceso anaerobio se presentan las cinéticas conocidas como acetogénica y metanogénica.”⁶

⁵ STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 178.

⁶ STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 130.

2.2.3. Procesos en las lagunas de estabilización facultativas

Las capas de la laguna facultativa (aerobia y anaerobia) no son constantes, estas interactúan entre sí, dependen de la radiación solar. Durante el día la capa aerobia, es la que predomina en la laguna y durante la noche la capa anaerobia. Las algas tienen un rol sumamente importante en el proceso biológico de las lagunas de estabilización, pues son los organismos responsable de la producción de oxígeno molecular, elemento vital para las bacterias que participan en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema.

“En las lagunas primarias facultativas predominan las algas flageladas, (*Euglena*, *Pyrobotrys*, *Chlamydomonas*) en lagunas secundarias se incrementa el número de géneros y la densidad de algas, predominan las algas verdes (*Chlorella*, *Scenedesmus*). En lagunas terciarias se presenta un mayor número de géneros de algas, entre las cuales predominan las algas verdes (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Microactiniums*). En muchos casos, se ha observado el predominio de algas verdes y azules.”⁷ El predominio de géneros varía según la temperatura estacional.

⁷ YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 40.

“El *zooplackton* de las lagunas de estabilización está conformado por cuatro grupos mayores; ciliados, rotíferos, copédodos, y cladoceros. Ocasionalmente se presentan amebas de vida libre, ostracodos, ácaros, turbelarios, larvas y pupas de dípteros.”⁸ La mayoría de individuos de estos grupos sólo están en las lagunas de estabilización durante algún estado evolutivo, raramente tienen importancia cualitativa.

“Los rotíferos predominan durante los meses de verano, dentro de este grupo, el género *brachionus* se presenta con mayor frecuencia, siendo el más resistente aún en condiciones extremas. Cuando el número de rotíferos se incrementa a niveles superiores a los normales, se observa un efecto negativo en la calidad del agua, ocasionando un aumento de los niveles de amonio, ortofosfato soluble, nitratos, y nitritos.”⁹ Asimismo, la presencia de un gran número de estos organismos, que consumen algas, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua a niveles de riesgo.

2.3. Sistema lagunar

Un sistema lagunar consiste en un tren de lagunas artificiales conectadas en serie, por donde el agua residual fluye por gravedad mientras sufre procesos físicos y biológicos que conducen a su purificación. A menudo el tren de lagunas está duplicado (en paralelo), para facilitar operaciones de mantenimiento o para distribuir mejor el flujo en los estanques.

⁸ YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). P. 110.

⁹ STEWART M, Oakley. Lagunas de estabilización en Honduras. p. 210.

Las lagunas se construyen excavando tierra del suelo, que luego se emplea para construir los terraplenes de tierra compactada que contienen el agua. En las llamadas lagunas de estabilización o lagunas convencionales no se aplica ningún proceso de aireación artificial, de manera que la depuración se produce por vía natural y con muy reducidos costos de operación.

El escaso uso del concreto y la ausencia de equipos de aireación, minimizan notablemente los costos de inversión en las lagunas convencionales. En las lagunas aireadas, la aireación artificial intensifica los procesos de degradación, reduciendo el volumen requerido de lagunas y las necesidades de suelo, aumentando sin embargo los costos de inversión y operación.

2.3.1. Mínimo manejo de lodos

El costo mayor en operación de plantas secundarias de tratamiento de aguas residuales, con sedimentación primaria y secundaria es el manejo de los lodos producidos. Una ventaja fundamental en el uso de lagunas es el hecho que se producen menos lodos que cualquier otro proceso como se presenta en la tabla I.

Porque los lodos quedan en la laguna primaria, por años en vez de horas o días como en los otros procesos, se consolidan con tiempo y ocupan menos volumen poco a poco. Asimismo todos los lodos de cualquier proceso, estarán muy contaminados “con huevos de helmintos, quistes de protozoarios, y otros patógenos bacterianos y de los virus,”¹⁰ la otra ventaja importante es el mínimo manejo de lodos producidos, con menos concentraciones de patógenos en los lodos por su edad.

¹⁰ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 92.

Una planta de filtros percoladores o lodos activados con sedimentación primaria y secundaria, y con digestión anaeróbica, tendría que remover lodos con una frecuencia de, por lo menos, cada mes, con todos los riesgos de manejar y disponer sanitariamente los lodos contaminados. En contraste, la remoción de lodos de una laguna primaria, es necesaria solamente cada 5 a 10 años, con menos riesgos de patógenos porque los lodos estarán más viejos.

Tabla I. **Cantidades de lodos producidos por varios procesos**

Proceso de tratamiento	Lodos producidos (m³ de lodos mojados por 1,000m³ de aguas residuales tratadas)
Sedimentación primaria	2.1—3.3
Lodos activados	1.4—1.9
Tratamiento secundario sin digestión de lodos	3.5—5.2
Tratamiento secundario con digestión de lodos	2.6—3.9
Laguna facultativa de estabilización	0.4—0.6

Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 15.

2.3.2. Complejidad del proceso y requisitos de operación y mantenimiento

La tabla II presenta el nivel de complejidad de varios procesos, y los requisitos de capacitación de personal y de monitoreo del proceso.

Las lagunas de estabilización, por su bajo nivel de complejidad, tienen muchos menos requisitos de operación y mantenimiento de cualquier otro proceso, lo que es una ventaja clave para las entidades con pocos recursos.

Tabla II. **Complejidad y requisitos de capacitación y monitoreo**

Proceso de tratamiento	Nivel de complejidad	Nivel de capacitación de personal	Requerimientos de monitoreo del proceso
Lodos activados	Alto	Alto	Alto
Filtro percolador	Medio—Alto	Medio—Alto	Medio
Laguna aireada	Medio—Alto	Medio—Alto	Medio—Alto
Sistema de lagunas de estabilización	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: STEWART M. Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 18.

2.3.3. Estabilidad y retención de procesos

Lagunas de estabilización, como resultado de su largo tiempo de retención hidráulica, lo que se mide en días en vez de horas.

Para tecnologías más complicadas, tienen mucho más tiempo de retención a “cargas altas orgánicas, hidráulicas, y a concentraciones altas a compuestos tóxicos”¹¹ como se presentan en la tabla III.

Como resultado, en muchos países industrializados se utilizan frecuentemente lagunas para tratar aguas residuales industriales por su mejor estabilidad y retención.

Tabla III. **Retención de los procesos de tratamiento**

Proceso	Sensibilidad a cargas altas de materia orgánica	Sensibilidad a cargas altas hidráulicas	Sensibilidad a compuestos tóxicos
Lodos activados	Alta	Alta	Alta
Filtro percolador	Media	Media	Media
Laguna aireada	Baja—Media	Baja—Media	Baja—Media
Sistema de lagunas Facultativas	Baja	Baja	Baja

Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 24.

¹¹ STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 20.

2.4. Procesos básicos en una laguna convencional

El agua residual ingresa a la laguna, donde circula a baja velocidad, por lo que la mayor parte de los sólidos suspendidos totales (SST) acaban sedimentando. En el fondo de las lagunas primarias o secundarias las condiciones son normalmente anaerobias, por lo que se produce la digestión anaerobia de los sólidos.

Este proceso implica la hidrólisis (solubilización) de las partículas orgánicas biodegradables, y la fermentación de los productos de la hidrólisis para liberar ácidos carboxílicos de bajo peso molecular y, finalmente, metano. Una parte de la materia orgánica soluble y los nutrientes liberados se difunde hacia el resto de la laguna, donde continúa su degradación.

La materia orgánica disuelta del afluente, se degrada por acción de los microorganismos presentes en el agua residual, que de manera espontánea se reproducen en las lagunas. En las lagunas primarias o en la parte inferior de las secundarias, las condiciones son anaerobias, por lo que esa es la vía de degradación. En la parte superior de las lagunas secundarias o en las lagunas terciarias, las condiciones son aerobias, por lo que se completa la degradación aerobia (más eficiente) de la materia orgánica disuelta.

De esta manera, un sistema completo de lagunas constituye un proceso anaerobio y aerobio, que puede resultar muy eficiente en la obtención de un efluente bajo en materia orgánica disuelta y sólidos.

En lagunas claras y poco profundas, “como lo son las terciarias, la luz penetra hasta el fondo y favorece la proliferación de algas, que consumen nitrógeno y fósforo, al tiempo que liberan oxígeno (por la fotosíntesis), lo que contribuye a oxigenar la laguna.”¹² Una excesiva proliferación de algas perjudica la calidad del efluente, por lo que pueden requerirse procesos de tamizado o filtración del efluente.

La eliminación e inactivación de patógenos se produce por varios mecanismos en las lagunas: sedimentación, cambios de pH, acción de la luz ultravioleta, condiciones aerobias en las lagunas terciarias, etc. En zonas con elevada irradiación se pueden alcanzar altos niveles de desinfección por estos mecanismos.

2.5. Clasificación de los tipos de lagunas

Para la disposición apropiada de las aguas residuales de tipo especial industrial, se puede utilizar el sistema de lagunas de estabilización, el cual constituye un sistema natural, que ofrece costos mínimos de operación, por lo cual es reconocido como el más adecuado para las condiciones económicas de poblaciones de bajos recursos financieros; convirtiéndose en una de las soluciones al problema de la salud humana. Una laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad de 1 a 4 m y con períodos de retención de uno a cuarenta días.

¹² MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 32.

Las lagunas de estabilización, tienen como propósito explícito, conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por la ley, que permitan su descarga al ambiente receptor, sin ocasionar problemas ambientales ulteriores e, inclusive, ser utilizadas para riego de cultivos en general. Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza un proceso conocido con el nombre de autodepuración, o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico.

“La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100cm³), sólidos totales en suspensión, sólidos sedimentables, potencial de hidrógeno, temperatura y entre otros, de las aguas descargadas en una laguna de estabilización, y del efluente de las mismas, son los parámetros que más se han utilizado para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento.”¹³

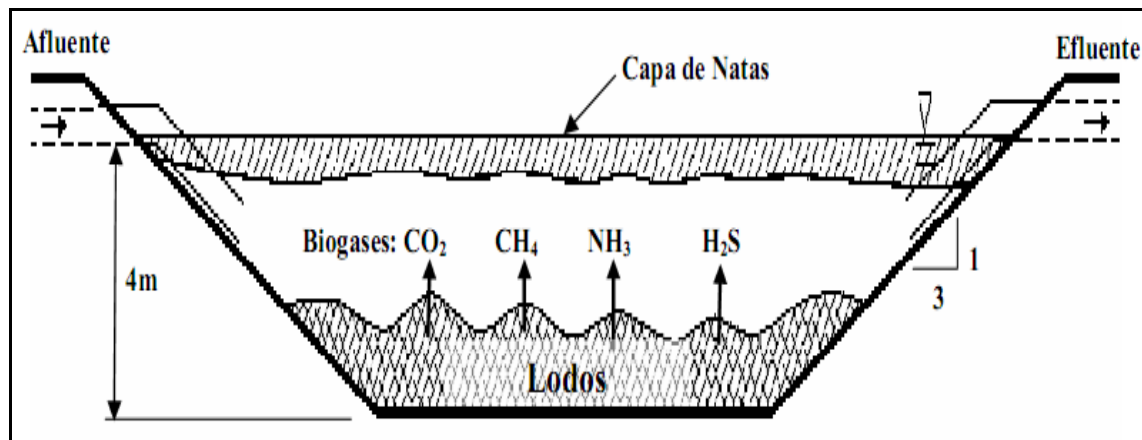
Las lagunas que reciben el agua residual cruda, se les llama lagunas primarias, el sistema debe contar por lo menos con dos lagunas primarias en paralelo o en serie, con el objeto de que una se mantenga en operación, mientras se hace la limpieza de lodos de la otra. Las lagunas que reciben el efluente de una laguna primaria se denominan secundarias, y dependiendo de la calidad del efluente que uno desea evacuar pueden llegar a terciarias, cuaternarias, etc. a estas también se les llama de maduración.

¹³ YÁNEZ COSSIO, Fabián. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 25.

2.5.1. Lagunas anaerobias

La fase anaerobia se realiza en lagunas de más de tres metros de profundidad, dispuestas generalmente en paralelo, “para conseguir un tiempo de residencia que no supere los 4 ó 5 días y proporcionar un flujo continuo a la fase siguiente.”¹⁴

Figura 3. Diagrama de una laguna anaerobia



Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 78.

En estas lagunas también se produce decantación e importantes procesos biológicos anaerobios, tanto en las aguas como en los lodos decantados. Debido a la existencia de procesos anaerobios, se aconseja disminuir al máximo el contacto del agua con el aire, reducir la superficie de las lagunas y aumentar la profundidad. La eficacia depurativa en estas lagunas mejora, cuando se construyen los taludes sobresaliendo de la lámina de agua; para que la protejan de los vientos.

¹⁴ MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 29.

También ayuda al buen funcionamiento colocar las entradas alejadas de los taludes, hacia la mitad de la columna de agua y dirigidas desde abajo hacia arriba, de modo que solamente ocasionen un flujo muy lento ascendente, y se favorezca la formación de fango granular.

La transformación de la materia orgánica, en condiciones anaerobias es muy rápida; pero los productos resultantes son todavía altamente tóxicos. El agua y los lodos durante el tiempo, que permanecen en las lagunas anaerobias pasan por una fase hidrolítica, que rompe las grandes moléculas en otras más pequeñas y generalmente solubles. Posteriormente “una fase acidógena transforma las moléculas resultantes, de la fase anterior en ácidos, aldehídos, alcoholes o cetonas.

Por último, la fase metanógena transforma los productos anteriores en metano, anhídrido carbónico y agua. Las bacterias anaerobias que trabajan durante las fases hidrolíticas y acidógenas lo hacen a pH entre 5,8 y 7,5. El intervalo de temperaturas debe estar comprendido entre 10° C y 60° C. Por el contrario, las bacterias que actúan durante la fase metanogénica lo hacen a pH entre 6,8 y 7,5, temperaturas comprendidas entre 30° C y 35° C, y con carencia absoluta de oxígeno.”¹⁵ Estas condiciones, principalmente las temperaturas, se mantienen cuando las lagunas son profundas.

Es importante que las lagunas anaerobias estén aisladas, porque contienen productos altamente tóxicos; que pueden contaminar los suelos y acuíferos subterráneos. Por ello, los lagunajes deben realizarse en lagunas construidas para este fin, y bien impermeabilizadas con láminas de PVC, tanto el fondo como los taludes.

¹⁵ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 98.

La eficacia que tienen las lagunas anaerobias, para transformar y eliminar la materia orgánica del agua es muy grande, porque al efecto biológico, hay que añadirle el fenómeno físico de decantación de materia orgánica coloidal. Sin embargo nunca debe saturarse el sistema con sobrecarga de materia orgánica, la DBO₅ no debe superar los 300 mg/L. durante períodos prolongados de tiempo.

En las lagunas anaerobias se pueden generar malos olores, debido a que la transformación no es completa, y se desprenden productos intermedios de sulfuro de hidrógeno, ácidos orgánicos etc. Pero si el funcionamiento es correcto, y se llegan a formar como productos finales dióxido de carbono y metano, los olores son prácticamente inapreciables.

Las aguas en esta fase de depuración deben estar tranquilas, sin que los flujos de agua sean rápidos. Deben aparecer “esporádicamente burbujas en la superficie, que corresponden al desprendimiento de metano. El color de las aguas debe ser gris, ocasionado por la formación de sulfuros metálicos, y no se deben apreciar algas, ni costras en la superficie.”¹⁶

¹⁶ STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 80.

Figura 4. **Lagunas anaerobias en paralelo, en Sierra Fuentes, Cáceres**



Fuente: http://ab.dip-caceres.org/alcantara/alcantara_online/55/55_000.htm. 24 de febrero de 2011.

Los problemas más frecuentes que en ellas se detectan son desprendimiento de malos olores, aparición de algas flotando en la superficie y existencia de macrofitas en los taludes. En ocasiones las “aguas se tiñen de color rosa, debido a la existencia de bacterias purpúreas de azufre; que son fotosintéticas. Producen fotosíntesis anoxigénica, utilizando el sulfuro de hidrógeno (H_2S), en vez del agua que utiliza la fotosíntesis oxigénica, para captar el hidrógeno e introducirlo en las moléculas orgánicas.”¹⁷

La solución a estos problemas exige limpieza y reajustes en las lagunas para conseguir condiciones de trabajo idóneas, sobre todo hasta que se implanten las bacterias metanogénicas y se consigan las condiciones que propician transformaciones anaerobias.

¹⁷ YÁNEZ COSSIO, Fabián. Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 20.

2.5.2. Lagunas aerobias

En las lagunas aerobias, también conocidas como de oxidación y maduración, el agua aumenta la calidad química y bioquímica, mediante la actuación de seres aerobios; que forman complejas redes tróficas y consiguen la eliminación casi completa de nutrientes, de patógenos y la clarificación del agua.

Sus superficies se calculan teniendo en cuenta que la profundidad de la columna de agua es aproximadamente de 0,6 m. y que el tiempo de residencia hidráulica debe estar en torno a 8 días. Las entradas de agua pueden ser múltiples, mediante tubos agujereados, que se le llaman tubos flauta, dispuestos en el fondo de las lagunas. Los agujeros existentes a lo largo del tubo, tienen la finalidad de mezclar y homogeneizar las aguas con mayor rapidez.

“El oxígeno en disolución del agua debe estar por encima de 4 mg/L. Esto permite la existencia de una red trófica compleja de algas, bacterias, protozoos, ranas, peces, macrofitas, aves, etc.”¹⁸ No obstante, la proporción de algas existentes en estas aguas, es mucho menor que en las lagunas facultativas, lo que le da color menos intenso y más transparencia. La luz solar llega fácilmente al fondo de la laguna, y esto permite el desarrollo de algas bentónicas. Durante la fase depurativa de oxidación y maduración, se estabiliza totalmente la materia orgánica y deja de ser putrescible, hay importante rebaja de nutrientes, la oxigenación del agua es intensa, pudiendo alcanzar valores por encima de 8 mg/L. en los días más favorables.

¹⁸ KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. p. 128.

La importancia del metabolismo existente y los altos valores de oxígeno disuelto, producen la eliminación, prácticamente total, de patógenos. Los principales problemas que se detectan en esta fase son: exceso de “macrofitas emergentes, exceso de algas en suspensión y aumento de salinidad, debido a la evaporación intensa. Sin embargo, es difícil que en esta fase se encuentren sulfobacterias, que indicarían un funcionamiento muy deficiente de toda la planta. Cuando las temperaturas ambientales son elevadas, pueden sustituirse las algas clorofíceas por cianofíceas, que proporcionan menos oxígeno a las aguas.”¹⁹

Los problemas citados, se solucionan teniendo la planta bien ajustada, sobre todo en las fases anaerobias y facultativas, mediante la cosecha periódica de macrofitas y la limpieza de taludes. También es conveniente conseguir efluentes de calidad evitando la evaporación y salinización por prolongar en exceso el tiempo de residencia hidráulica. Generalmente la depuración por lagunaje aerobia, es ventajosa respecto a la depuración tecnológica para las empresas; que dispongan de terrenos adecuados, pero también plantea algunos problemas que conviene conocer antes de su implantación.

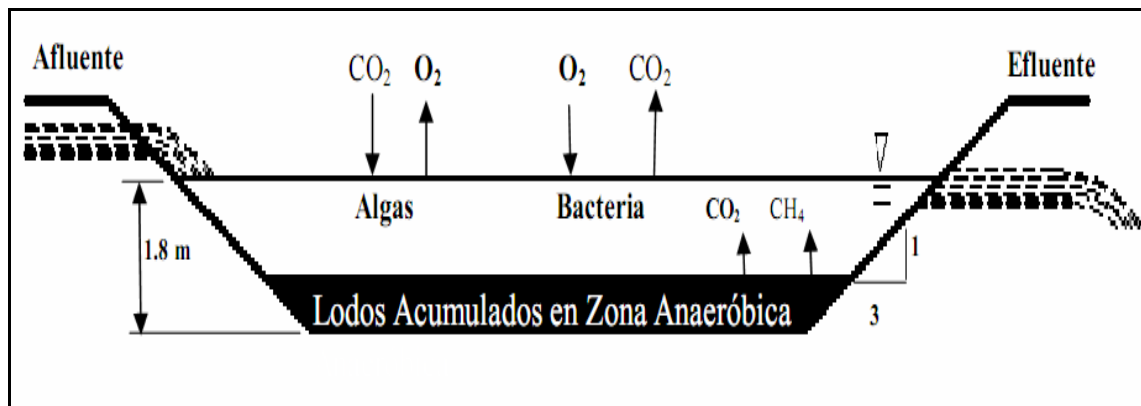
2.5.3. Lagunas facultativas

En cuanto a la fase facultativa, es muy importante en el proceso depurativo; porque aumenta la calidad del agua que sale de la fase anaerobia y la clarifica, permitiendo que existan algas hasta una cierta profundidad.

¹⁹ STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 196.

El agua residual se transforma intensamente; mediante acciones anaerobias en el fondo y acciones aerobias en la superficie de las lagunas.

Figura 5. Diagrama de una laguna facultativa



Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 76.

Las lagunas de esta fase tienen una profundidad aproximada de 1,5 m, generalmente se construyen en número par, con la extensión superficial adecuada, para que el tiempo de residencia hidráulica esté próximo a los 30 días. El número de entradas, salidas e intercomunicaciones, entre las lagunas debe ser múltiple para que se produzca mezcla total de las aguas.

“El color de las aguas en estas lagunas, cuando el funcionamiento es correcto, debe ser verde intenso por la abundancia de algas clorofíceas de sus aguas. La actividad fotosintética realizada por estas algas, proporciona un pH ligeramente alcalino, en torno a 8. También debido a la actividad fotosintética de las algas, en las aguas superficiales de las lagunas hay más de 2 mg/L. de oxígeno disuelto.”²⁰

²⁰ MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 25.

Nunca deben producirse olores en las lagunas facultativas, porque los gases procedentes de las zonas profundas; son oxidados en superficie y utilizados como nutrientes, por los abundantes seres vivos que habitan sus aguas. Los alginatos desprendidos por las algas y la tranquilidad ambiental del agua, proporcionan la precipitación de sólidos en suspensión y la clarificación del agua, que a su vez facilita que entre la luz solar, hasta zonas más profundas.

Durante la fase facultativa se rebajan los nutrientes disueltos en las aguas entre 40 y 90%. Se estabiliza la materia orgánica putrescible, al convertirse en materia viva celular de algas y bacterias. Hay paso de sulfuros a sulfatos, debido a las condiciones oxigénicas, sobre todo en la superficie.

También son importantes en las lagunas facultativas, las “reacciones de óxido y reducción y las de nitrificación y desnitrificación. Las acciones biológicas que dan lugar a estas transformaciones son: fotosíntesis de las algas y el metabolismo heterótrofo, muy intenso, de las bacterias, algas y bacterias se encuentran en simbiosis.

Cuando las condiciones de trabajo, no son las adecuadas puede pasar toda la columna de agua; a condiciones anaerobias y producir malos olores. La disminución del oxígeno superficial por debajo de 2 mg/L, puede estar ocasionada por la disminución de clorofila a niveles inferiores a 250 µg/L en verano y de 200 µg/L en invierno.”²¹ Cuando las temperaturas del agua suben por encima de 28° C, se sustituyen las algas verdes por algas verdes y azules, que son menos eficaces en la producción de oxígeno.

²¹ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 76.

Si el contenido de ácido sulfhídrico es importante, debido a permanecer las aguas durante largas temporadas, en condiciones anóxicas; pueden proliferar bacterias fotosintéticas de azufre y teñirse las aguas de color púrpura.

Los problemas comentados pueden solucionarse, mediante el ajuste de las condiciones ambientales de las lagunas, modificando los tiempos de residencia hidráulica y la altura de la columna de agua. También es imprescindible la limpieza de los taludes y caminos de la planta depuradora.

2.5.4. Lagunas aireadas

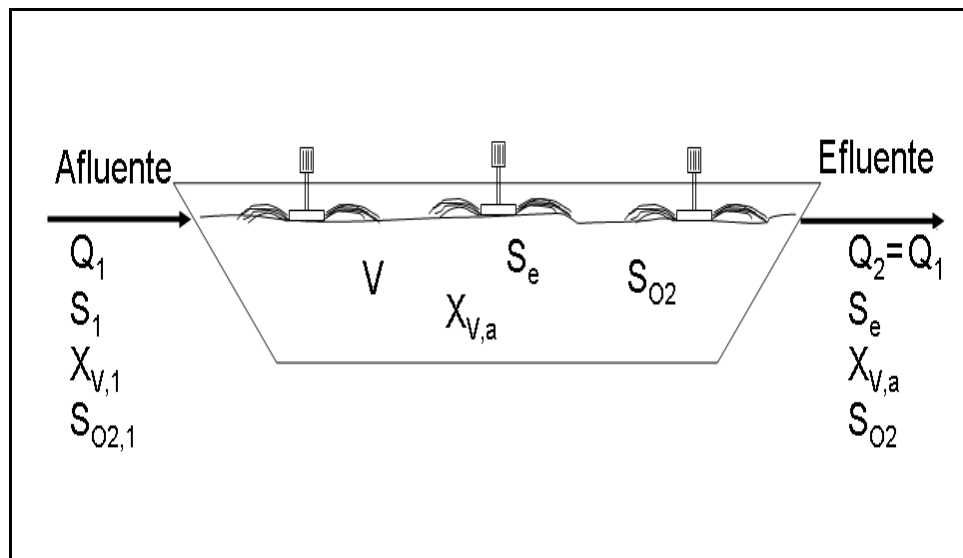
Por su uso de terreno y costos de inversión las lagunas aireadas, se encuentran entre las plantas de lagunas convencionales y las de lodos activados. Según la energía de aireación suministrada, las lagunas aireadas pueden ser; de mezcla completa o parcial (lagunas aireadas facultativas). Éstas últimas son las más comunes, y en ellas la agitación no es suficiente, para mantener los sólidos en suspensión, por lo que éstos en buena medida sedimentan al fondo del estanque, donde se pueden producir condiciones anaerobias, de manera que una parte de la DBO_5 se consume por vía anaerobia, con desprendimiento de biogás.

La aireación se suministra de manera escalonada en las lagunas, de manera que un tren de cuatro lagunas puede “recibir el 70% de la aireación en la primera laguna, el 20% en la segunda, el 10% en la tercera, mientras la cuarta no está aireada y actúa de laguna de sedimentación y maduración.”²²

²² YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 65.

La aireación artificial permite profundidades mayores, “en las lagunas facultativas (5 a 7 m con relación a las lagunas facultativas convencionales, que miden aproximadamente 2 m), y cargas orgánicas superficiales 4 a 5 veces mayores que en las facultativas convencionales. Los requerimientos de terreno se reducen en una proporción similar. Los sistemas de aireación empleados típicamente son turbinas de aireación superficial, (aireación mecánica) y difusores de burbuja gruesa (aireación sumergida),”²³ ver figura 6.

Figura 6. **Laguna aireada de mezcla completa**



Fuente: Morató, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 110.

²³ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 108.

2.6. Secuencia del flujo de una batería de lagunas

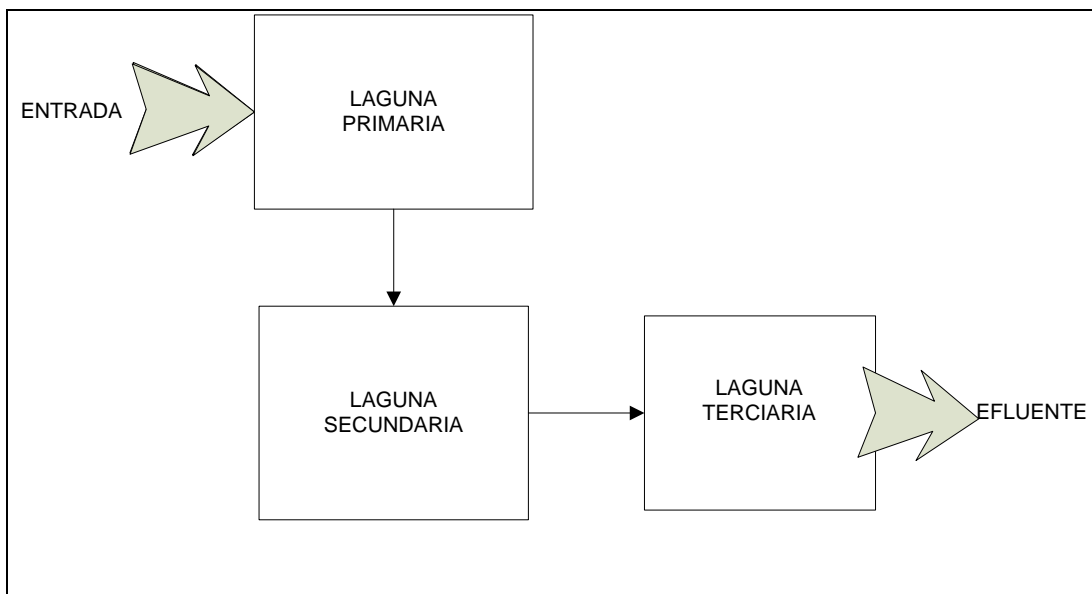
De acuerdo con la secuencia del flujo de una batería de lagunas, se pueden tener lagunas en serie, en paralelo, o en paralelo y serie.

2.6.1. Lagunas en serie

Conjunto de lagunas que se suceden unas a otras y que están relacionadas entre sí, como se muestra en la figura 7.

La calidad bacteriológica del efluente al colocar varias lagunas facultativas en serie ofrece una gran mejoría en la estabilización de las aguas residuales.

Figura 7. Sistema lagunar en serie

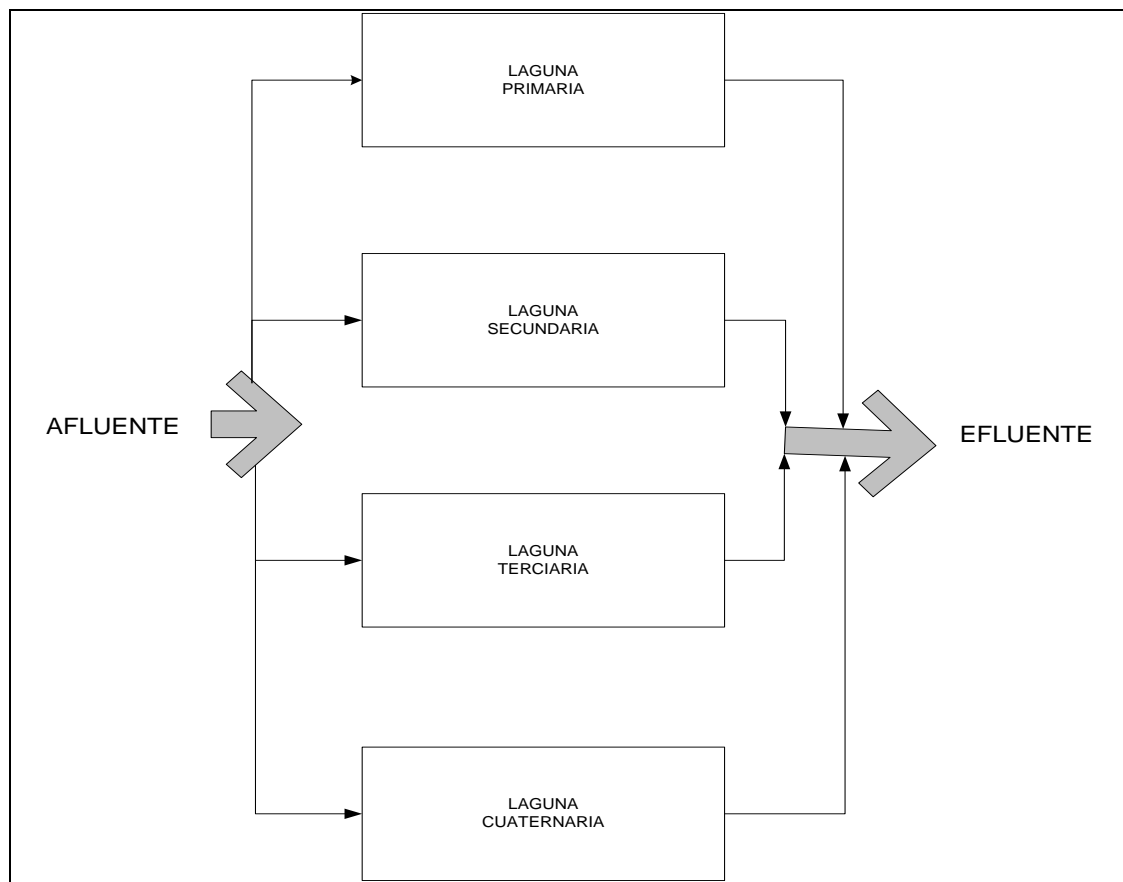


Fuente: elaboración propia.

2.6.2. Lagunas en paralelo

Son dos o más circuitos que se conectan independientemente a uno principal, como se muestra en la figura 8. El uso de estas lagunas no incrementa considerablemente la calidad del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas de construcción y operación; ya que las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos, y requieren ser limpiadas periódicamente.

Figura 8. Sistema lagunar en paralelo



Fuente: elaboración propia.

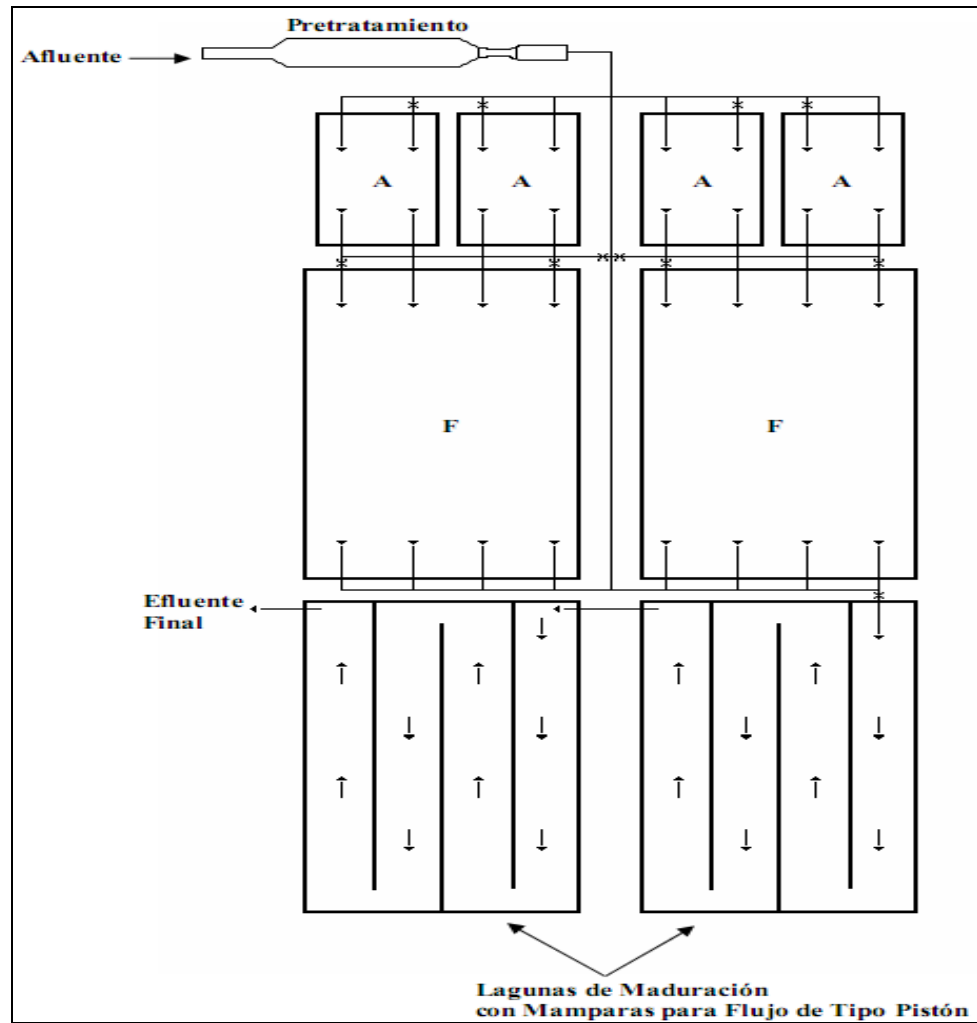
2.6.3. Lagunas distribuidas en paralelo y en serie

Se diseña un sistema de “lagunas para tener baterías de lagunas primarias (facultativas o anaeróbicas) en paralelo seguidas por dos o tres lagunas de maduración, en serie”²⁴ como se presenta en la figura 9. Se debe diseñar las lagunas primarias en paralelo, para poder tener una fuera de servicio; para la remoción de lodos mientras las demás quedan operando.

Se diseña lagunas anaeróbicas y facultativas para remover la DBO_5 y SS y controlar el proceso de tratamiento; después, se diseña lagunas de maduración para remover patógenos aprovechando su remoción anterior en las lagunas anaeróbicas o facultativas.

²⁴ STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 82.

Figura 9. Diagrama de lagunas en paralelos y en series



Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 86.

2.7. Ventajas y desventajas en la utilización de las lagunas de estabilización

Dentro de las ventajas del uso de lagunas de estabilización, para el tratamiento de aguas residuales, están las siguientes:

- A. Elevada estabilización de “la materia orgánica a un bajo costo y sin gastos energéticos; ya que las fuentes de energía son el sol y las acciones del viento. Las lagunas de estabilización tienen bastante flexibilidad, en lo que respecta a períodos de carga orgánica y caudal elevados.”²⁵
- B. Con respecto a otros sistemas de tratamiento, las lagunas de estabilización ofrecen mayor reducción de microorganismos patógenos en el efluente, a comparación de otros sistemas en donde se necesita de desinfección para lograrlo.
- C. Las lagunas de estabilización representan bajos costos de construcción y mantenimiento, y no se requiere de mano de obra calificada.
- D. En las lagunas de estabilización se puede controlar el tiempo de retención, variando la altura de las estructuras de salida con el fin de aumentar o disminuir la profundidad de las lagunas según sean las necesidades.
- E. La limpieza de los lodos dentro de la laguna, se realiza en períodos relativamente largos y por la mineralización: que estos presentan; son ampliamente utilizables para agricultura como abonos naturales.

²⁵ YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de estabilización. p. 200.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos, las lagunas de estabilización constituyen; uno de los métodos de tratamiento de aguas residuales más convenientes, su uso resulta bastante beneficioso en las áreas rurales o comunidades de bajos ingresos económicos y de igual manera industrias que tienen cantidades considerables de terrenos. Dentro de las desventajas que tiene este sistema de tratamiento, se encuentran las grandes áreas de terreno que se necesitan para su construcción, y la presencia de altas concentraciones de algas en el efluente lo que podría provocar problemas en el cuerpo receptor, por lo que muchas veces se utiliza la crianza de peces en las lagunas como medida correctiva.

2.8. Sistemas de tratamientos

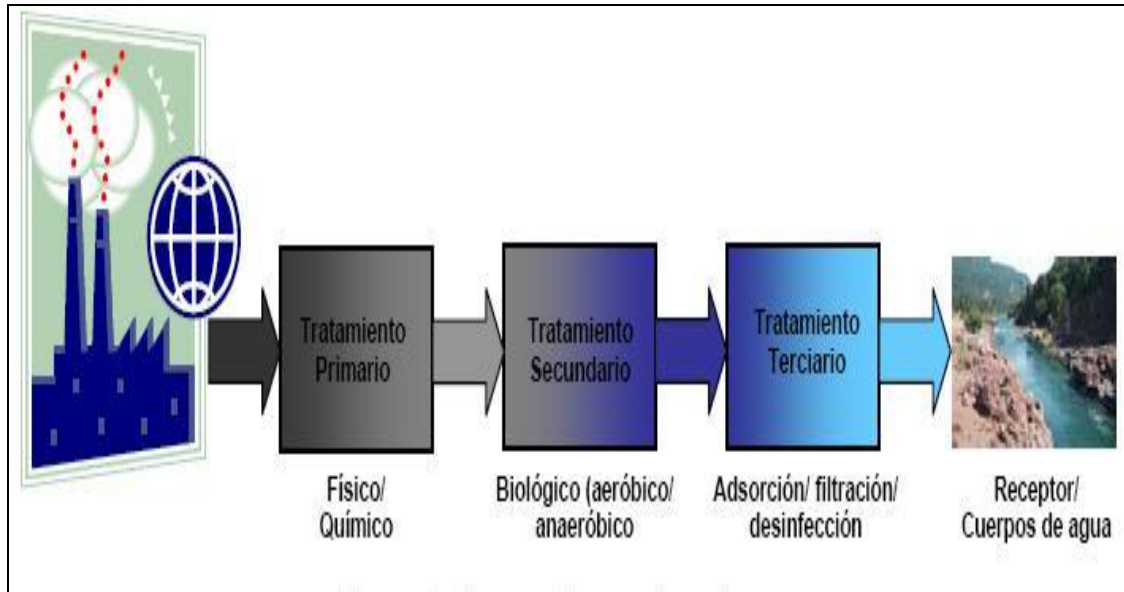
Los sistemas de tratamiento resultan de “la combinación de procesos y operaciones unitarias, en los que se pueden diferenciar distintos niveles; para las aguas residuales, dependiendo de los objetivos que se deseen cumplir. La selección del sistema de tratamiento; depende de una serie de factores, dentro de los cuales se incluyen.”²⁶

- Característica del agua residual: DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno), materia en suspensión, pH, productos tóxicos, entre otros
- Calidad del efluente necesario para la descarga
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Tecnologías disponibles

De acuerdo a esto, es posible encontrar tratamientos de tipo primario, secundario y terciario, los cuales se detallan a continuación como en la figura 10.

²⁶ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 56.

Figura 10. **Diagrama de los tipos de sistema de tratamiento del agua residual**



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 36.

2.8.1. Tratamiento primario

Los sistemas de tratamiento primario, son procesos de tipo físico y/o químicos, que tienen como objetivo eliminar el contenido de sólidos presentes, en las aguas residuales. Los procesos de tipo físico, son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes “inorgánicos o con materia orgánica; no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos son usados para la eliminación de sustancias solubles, empleando para esto agentes químicos como floculantes y/o coagulantes, que mejoran la separación de partículas.”²⁷

²⁷ STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 56.

Su importancia radica en eliminar constituyentes de las aguas residuales que puedan alterar el normal funcionamiento de los diferentes procesos y operaciones, disminuyendo los riesgos de problemas en las unidades de tratamiento posteriores. Los tratamientos primarios permiten la reducción de sólidos, en suspensión o el acondicionamiento de las aguas; para pasar a un tratamiento secundario. En las tablas IV y V se muestran los principales tratamiento físicos y fisicoquímicos.

Tabla IV. **Tratamientos físicos**

Procesos Físicos	Objetivos
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1mm - 1m
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)

Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 34.

Los tratamientos fisicoquímicos actúan sobre la base de que la coagulación y floculación; debe ser asistida por agentes coagulantes, que son adicionados para neutralizar cargas en el sistema, mientras que la floculación se realiza con polímeros orgánicos; que se adsorben y actúan como puentes entre las partículas, con la finalidad de aumentar el coágulo formado y de este modo, mejorar la velocidad de precipitación de los sólidos contenidos en los efluentes.

Los coagulantes que se pueden utilizar en el proceso de coagulación, pueden ser: el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro férrico (FeCl_3), sulfato de hierro ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) y el cloruro de aluminio polimerizado (AlCl_3). Y entre los agentes floculantes orgánicos, pueden utilizarse: polímeros cargados derivados de celulosa, poliaminas, almidones cuaternarios, quitosan, taninos condensados.

Tabla V. **Tratamientos fisicoquímicos**

Procesos Químicos	Objetivo
Coagulación/ Floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades fisicoquímicas de las partículas, acelerando su decantación. Remoción de sólidos gruesos (rejillas, cribas o tamices).

Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 38.

2.8.1.1. Cámara de arena

En la actualidad se usan tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras están diseñadas de modo que permiten que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositan en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continúan su recorrido.

Estos tipos de tanques ha evolucionado y hoy en día; las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

2.8.1.2. Sedimentación

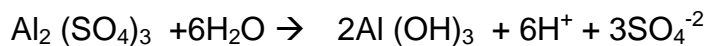
Una vez eliminada la fracción mineral solida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de “sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.”²⁸ La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial, incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación.

2.8.1.3. Coagulación

La coagulación y floculación, son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa. En la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas; llamadas *flocs* tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales, esto altera las características superficiales de los sólidos, en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan.

²⁸ YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 30.

Por el cual ocurre una desestabilización de las partículas suspendidas, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. La carga de las partículas coloidales, se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes, lo que genera la posterior precipitación. Así la “desestabilización de los sistemas coloidales, se ve mejor bajo el punto de vista químico. Entre los coagulantes, el más usado es el sulfato de aluminio (o alumbre).”²⁹ Esta sustancia presenta la siguiente reacción:



Esta reacción va disminuyendo su pH a medida que la reacción, se lleva a cabo hasta un punto, en que se detiene. Si el agua contiene bicarbonatos, el pH puede mantenerse relativamente constante, ya que estos actúan como amortiguadores. El CO₂ puede producir corrosión y por lo tanto suele neutralizarse con cal. La reacción origina endurecimiento del agua, según los requerimientos podría ser posteriormente tratado este asunto. Para producir la coagulación el agua requiere de cierta alcalinidad natural.

Si esta alcalinidad no se posee, se debe agregar algún tipo de sustancia, que la asegure como es el CaO, Ca(OH)₂, NaOH o NaCO₃. Existe un pH óptimo de coagulación según el tipo de agua. Este punto se tendrá en el punto isoeléctrico, donde el potencial zeta es mínimo. En dicho punto también, se cumple que el gasto de coagulante es mínimo.

²⁹ MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 18.

2.8.1.4. Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual, las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los *flocs* de modo de facilitar la precipitación. La floculación puede “presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinética, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas (en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos). Las partículas pequeñas (<1 μ m) están sometidas a floculación pericinética, motivada por el movimiento *browniano*, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética.”³⁰

La floculación se lleva a cabo, mediante la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del procelización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas e industriales. La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes, que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

2.8.1.5. Flotación

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones entre 1,75 a 3,5 kg/cm². El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto.

³⁰ KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. p. 220.

En él, la ascensión de las burbujas de aire, hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

2.8.1.6. Digestión

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. Las sustancias resultantes fermentan por “la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético, entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias.

Se añade lodo espesado y calentado al digestor, tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 a 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre 45 y 60%.³¹

2.8.1.7. Desección

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación.

³¹ STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 75.

El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero, para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo; como acondicionador del suelo, en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y 1% de fósforo.

2.8.2. Tratamiento secundario

Se entiende por tratamiento secundario la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, mediante un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos que utilizan dicha materia orgánica como nutriente, su objetivo es entonces, “el de remover la materia orgánica contaminante, vale decir, reducir la demanda de oxígeno en el agua. Los sistemas biológicos pueden clasificarse en:”³²

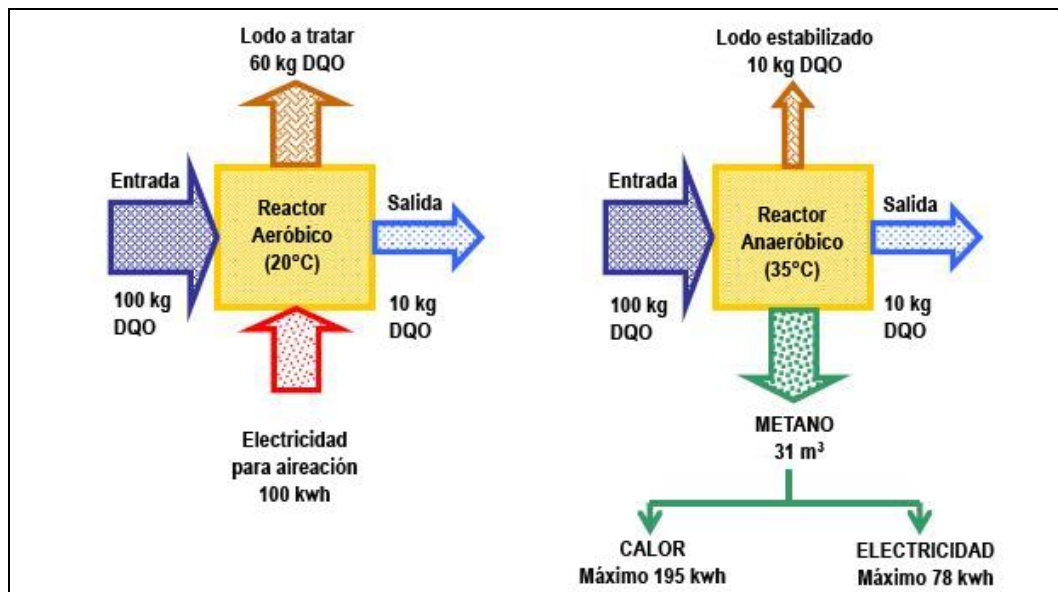
- Sistemas con biomasa suspendida (SBS)
- Sistemas con biomasa fija (SBF)

Las ventajas de los sistemas de biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o *biofilm*, es que éstos son más robustos en su operación, ocupan menores superficies de instalación y son capaces de tratar elevadas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación. El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica. La figura 11 muestra las características de uno y otro.

³² MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 94.

Dentro de las diferencias esta la generación de metabolitos finales, las necesidades de oxígeno y la cantidad de biomasa producida, debido a las características de las bacterias de cada sistema. Por ejemplo, la productividad de la biomasa en condiciones aeróbicas es de 60% más que la de un sistema anaeróbico.

Figura 11. **Comparación de sistemas de tratamiento biológico, aeróbico y anaeróbico**



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 40.

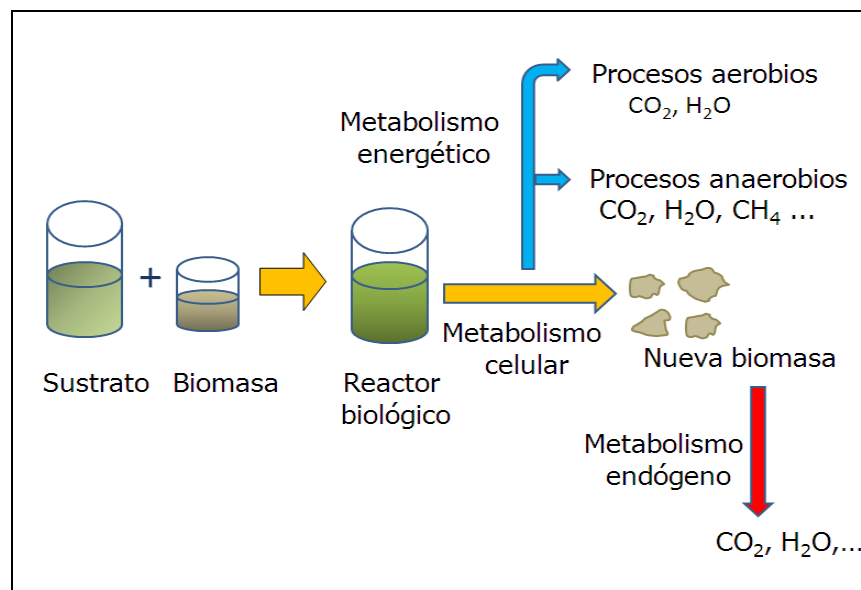
2.8.2.1. Fundamentos de los procesos biológicos

Un proceso biológico de depuración de aguas residuales, es un sistema en el cual un cultivo de microorganismos (biomasa) se alimenta de las impurezas del agua residual (sustrato).

Estas impurezas son la materia orgánica biodegradable, el amonio, el fosfato y otros contaminantes en menor concentración. En este proceso, el sustrato sufre una doble transformación (ver figura 12):

- Una fracción del sustrato se convierte en nuevo material celular (metabolismo celular) produciendo una biomasa capaz de adherirse a un soporte sólido, o de flocular y separarse por decantación.
- El resto del “sustrato consumido es degradado para obtener energía (metabolismo energético). Mediante la respiración celular se produce CO_2 y H_2O (en procesos aerobios), y CO_2 , H_2O , ácidos orgánicos y CH_4 (en procesos anaeróbicos).”³³

Figura 12. **Mecanismo de la depuración biológica de aguas residuales**



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 96.

³³ KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. p. 135.

Una parte de la nueva biomasa se descompone mediante el llamado metabolismo endógeno, generando más gases residuales. El resultado de las condiciones mencionadas es una buena depuración de la materia orgánica biodegradable y a veces de otros contaminantes del agua residual. Una condición necesaria para una buena depuración es la separación sólido y líquido, que se obtiene normalmente mediante sedimentación por gravedad, o por la adhesión de los microorganismos, formando una película sobre un soporte sólido.

2.8.2.2. Tipos de microorganismos involucrados

Diferentes tipos de microorganismos actúan en la depuración biológica, la remoción de carbono, es llevada a cabo por los microorganismos heterótrofos, estos organismos consiguen el carbono de fuentes orgánicas; hidrolizan la materia orgánica compleja, filtran la materia orgánica simple a través de su membrana, y de ahí la incorporan a sus procesos de síntesis de biomasa.

La mayoría de los microorganismos en tratamiento de aguas residuales son "heterótrofos, sobre todo bacterias, hongos y protozoos. Los microorganismos autótrofos son aquellos que, como fuente de carbono utilizan el CO₂ atmosférico y el bicarbonato disuelto en el agua. Por lo tanto, no se alimentan de materia orgánica sino de carbono inorgánico. En la depuración biológica son autótrofas las algas, que aportan oxígeno en los sistemas lagunares, y las bacterias nitrificantes, que contribuyen a la remoción biológica de nitrógeno."³⁴

³⁴ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 101.

Según su manera de utilizar y tolerar el oxígeno, los microorganismos se dividen en aerobios, anaerobios y facultativos. Los aerobios necesitan el oxígeno para su metabolismo, ya que obtienen energía mediante la oxidación de la materia orgánica con oxígeno. Para los anaerobios (estrictamente anaerobios) el oxígeno es inhibitorio, y sólo pueden desarrollar su metabolismo en ausencia de este compuesto, los facultativos pueden reproducirse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno. Son aerobios o facultativos los microorganismos empleados en los procesos aerobios, mientras que facultativos y anaerobios llevan a cabo el tratamiento anaerobio.

Una propiedad especialmente importante de los microorganismos es su capacidad de formar flóculos, gránulos o películas adheridas, porque de ella depende la buena separación sólido y líquido. En la formación de flóculos, el equilibrio entre microorganismos filamentosos y formadores de flóculos gobierna la separación sólido y líquido.

2.8.2.3. Lodos activados

El proceso de lodos activados consiste en un reactor aerobio donde se biodegrada la materia orgánica del afluente, seguido de un proceso de sedimentación donde se obtiene un efluente clarificado y se separa la biomasa. La biomasa así recuperada se “recircula al reactor biológico, lo que permite mantener elevadas concentraciones de microorganismos en el reactor aireado.

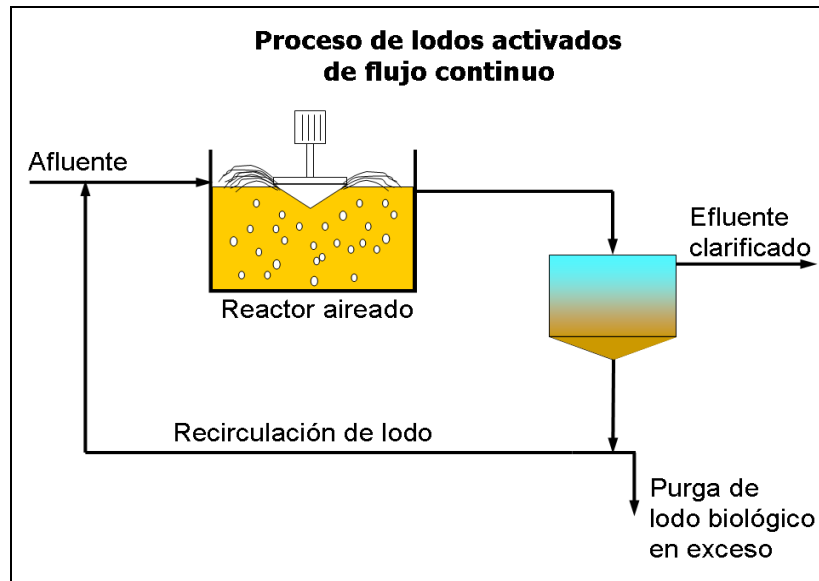
Esta elevada concentración de biomasa en el reactor (de cuarenta veces superior a la de una laguna aireada) permite velocidades de reacción muy elevadas, en comparación con las de las lagunas aireadas,³⁵ lo que supone volúmenes de reacción y superficies de planta mucho menores que los sistemas lagunares.

Por su compactibilidad y por la calidad del efluente, el proceso de lodos activados resulta especialmente adecuado, para plantas en zonas urbanas. Sin embargo, los costos de inversión y operación son superiores o muy superiores a los de los procesos lagunares. En zonas tropicales el tratamiento anaerobio y aerobio compite en costos de operación con el proceso de lodos activados, para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Es importante indicar que en regiones rurales y/o marginadas de los países en desarrollo; a menudo cuesta disponer de financiamiento para la operación y mantenimiento de plantas aerobias, en particular para pagar la factura eléctrica de las mismas. El proceso de lodos activados puede implementarse como un proceso continuo (solución más habitual) o de manera discontinua. La figura 13 muestra el esquema del proceso de lodos activados de flujo continuo.

³⁵ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 104.

Figura 13. Esquema del proceso de lodos activados de flujo continuo



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 105.

La mezcla de biomasa y agua residual contenida en el reactor, se llama licor mezclado, y a la salida del reactor se conduce al decantador secundario donde la biomasa sedimenta por gravedad.

El efluente del decantador tiene típicamente valores de DBO_5 y SST en “el intervalo de 10 a 30 mg/L. Al fondo del decantador, se concentra la biomasa sedimentada (lodo secundario), a una concentración 2 a 3 veces la del reactor biológico, lo que facilita su bombeo y recirculación hacia el reactor. Este proceso de recuperación de la biomasa; permite mantener elevadas concentraciones de microorganismos en el reactor biológico, lo que es característico del proceso de lodos activados frente a las lagunas aireadas.”³⁶

³⁶ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 106.

2.8.2.4. Filtro de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos, que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

2.8.2.5. Fango activado

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo, quedan suspendidas en un tanque de aireación, y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamados *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos, la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) fluctúa entre el 60 y el 85%.

2.8.2.6. Estanque de estabilización o laguna

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable, y por tanto, suelen construirse en zonas rurales o en industrias, que poseen grandes extensiones de terreno. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea.

En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aerobia, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de un 75 a un 85%.

2.8.3. Tratamiento terciario

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor, que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. El tratamiento terciario incluye pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO₅ en similar medida.

Los sólidos disueltos se “reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable,”³⁷ excepción hecha de la cloración extrema.

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales, tiene relación con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua.

³⁷ KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. p. 146.

El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios y secundarios. Las tecnologías “empleadas pueden ser de tipo física, química y/o biológica. Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de compuestos organoclorados, o la desinfección para eliminar patógenos mediante cloración u ozonización.”³⁸ Ver figura 14.

Figura 14. **Tratamientos terciarios a) ozonización y b) filtro de carbón activado**



Fuente: MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 37.

³⁸ MORATÓ, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas. p. 37.

2.9. Características del sistema de tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales, en la industria manufacturera de harinas de maíz, está diseñado de tal manera, que se empieza a separar los sólidos gruesos, que posee el agua residual, que es generado a partir de la cocción del maíz, seguido de un sistema de sedimentación, y por medio de un canal trapezoidal, el agua residual es conducido hacia las cinco lagunas de estabilización, en donde se lleva a cabo la autodepuración natural, a partir de las cinco lagunas anaerobias que actualmente están funcionando en el interior de la planta. Que posteriormente el efluente tratado, es conducido hacia una quebrada llamada La Cochoyera, en el municipio de El Tejar, Chimaltenango.

2.9.1. Pretratamiento

El sistema que se utiliza para separar los sólidos gruesos del agua residual u otro material flotante, está diseñado con el objeto de disminuir los niveles de sólidos, que pudiera llevar el agua residual, antes de ser tratado en el sistema de lagunaje, asimismo se reduce el nivel de la carga orgánica.

En la planta se cuenta con un pretratamiento que se lleva a cabo por medio de una fosa de sedimentación y separación de los sólidos gruesos. (Granos de maíz, que viene del proceso de nixtamalización) Cuyas dimensiones son 2,60 m*4,18 m*2 m para el removedor de sólidos y 2,60 m*12,97 m*2 m para la fosa de sedimentación.

Por el cual se utiliza una bomba de 15 hp, para bombear el agua residual, hacia la parte superior de un silo, tipo cono truncado, de ahí se separan los sólidos del agua, a través de un tamizador, como se muestra en la figura 15. El efluente libre de sólido regresa en la segunda sección de la fosa.

Figura 15. **Separación de los sólidos gruesos del agua residual**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Posteriormente el agua residual libre de sólidos, sigue su recorrido hacia la segunda fosa de sedimentación, con dimensiones de 3,58 m*4,05 m*2 m, en donde se lleva a cabo una nueva etapa de separación de sólidos flotantes, que aún posee el efluente, por el cual los sólidos son atrapados a partir de una compuerta, en donde el efluente pasa por debajo de la trampa de sólidos hecha de lamina delgada de acero inoxidable, como se ve en la figura 16.

Figura 16. Fosa de sedimentación secundaria, nueva etapa de separación de sólidos gruesos



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

A continuación el agua residual continua su recorrido por medio de un canal trapezoidal, hecho de concreto, con una longitud de 114 m, ancho 2 m y una profundidad de 1,70 m, la cual existen sólidos gruesos que se van depositando en el fondo en todo el trayecto del canal, (véase la figura 17) asimismo el efluente ingresa a la primera laguna de estabilización, y finaliza el proceso de pretratamiento del agua residual, como un tratamiento primario.

Figura 17. **Recorrido del agua residual, a través de un canal trapezoidal**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.9.2. Lagunas de estabilización

El sistema de tratamiento por medio de lagunas de estabilización, es un proceso por el cual la degradación de la materia orgánica, se realiza por un medio natural a partir de las bacterias del medio que degradan las materias orgánicas, el sistema en el interior de la planta, cuenta con cinco lagunas que están conectadas en series, de tal manera que se lleva a cabo el tratamiento del agua residual de forma natural, esto como un tratamiento secundario, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de cinco lagunas de estabilización conectadas en series**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Cabe mencionar que estas lagunas son anaerobias, debido a que están construidas con una profundidad de 3 m, y por la coloración en la parte superior de cada una, estas lagunas se caracterizan por una capa que se forma siempre en la superficie, se tornan de color gris, negro o café oscuro. El plano del sistema se encuentra en la sección de apéndice.

2.9.3. Disposición final del efluente

La disposición final del agua residual, después de ser tratada, a través del sistema de lagunaje, es conducida en la parte sur de la planta, hacia una quebrada llamada La Chocoyera, barranco que se encuentra a 50 metros de las lagunas de estabilización, la figura 19 muestra la disposición final del efluente tratado.

Figura 19. **Agua residual conducida hacia la quebrada La Chocoyera, El Tejar municipio de Chimaltenango**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10. Identificación de los problemas de la planta de tratamiento de aguas residuales

El actual sistema de tratamiento de aguas residuales, comienza por la separación física inicial de sólidos gruesos, posteriormente se aplica un desarenado, luego se tiene una sedimentación primaria. A continuación se describe las etapas de tratamiento y los posibles problemas que actualmente se tiene.

2.10.1. Tamizador

El problema comienza en la mala separación de sólidos, ya que esto ocasiona una alta carga orgánica. Cuando el efluente entra en la primera laguna de estabilización, provocando una acumulación de lodos en el interior de las lagunas, debido a los sólidos presentes, y por el cual aparecen grandes cantidades de natas en la superficie. Esto se debe a que se tiene un tamizador en mal estado. La figura 20 representa las malas condiciones del separador de sólidos gruesos.

Figura 20. **Tamizador en mal estado**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

En la figura 20, puede observarse que el separador de sólidos, posee varios agujeros, y por lo tanto no se lleva a cabo una adecuada remoción de flotante, que a su vez provoca una gran acumulación de granos de maíz, en el interior de las lagunas de estabilización, provocando una mala eficiencia por parte del sistema de lagunas, elevando la carga orgánica y de esta manera la materia no puede degradarse por completo.

2.10.2. Fosa de sedimentación primaria

Para aumentar la separación del flotante del agua residual, en la primera fosa, en donde se deposita el efluente que se genera del proceso de nixtamalización, es conveniente tener un control del nivel de agua, durante la noche, ya que la bomba que se utiliza para enviar el efluente hacia la parte superior del silo, trabaja conectada a través de un toma corriente eléctrico.

Es por ello, que al desconectarse la bomba durante la noche, el nivel del agua sube, y rebalsa, de esta manera toda el agua rebalsada pasa a la siguiente sección de la fosa primaria, por el cual el efluente contiene grandes cantidades de sólidos gruesos, que a su vez se van depositando en el sistema de lagunas. En la figura 21 puede apreciarse como está colocada la bomba y las secciones de la fosa de sedimentación primaria.

Figura 21. **Bombeo del agua residual, hacia el tamizador, el agua libre de sólidos pasa a la siguiente sección de la fosa de sedimentación**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.3. Fosa de sedimentación secundaria

Después del sistema descrito anteriormente, se tiene el segundo tanque de sedimentación, la cual, los sólidos que no se pueden remover en la primera etapa de remoción, pasan directamente a esta nueva sección de sedimentación de sólidos gruesos. De tal manera que el tanque que sirve para retener aún los sólidos, trabaja de una manera inadecuada debido a que no posee, una remoción de flotante tanto en el aspecto mecánico, como manual, asimismo el agua residual contiene considerables cantidades de sólidos durante su recorrido hacia las lagunas.

Se puede observar en la figura 22, que el tanque no contiene una compuerta que pueda retener o atrapar los sólidos gruesos, debido a esto existe una gran acumulación de granos en el fondo de las lagunas y al mismo tiempo aumenta la materia orgánica, que no se pueden degradar fácilmente, que ocasiona una ineficiencia, en cuanto al trabajo que realizan las lagunas como tratamiento de aguas residuales.

Figura 22. Fosa de sedimentación secundaria



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.4. Canal trapezoidal

La planta de tratamiento cuenta con un canal trapezoidal, que conduce el agua residual a las lagunas, como se puede apreciar en la figura 23, el canal posee una gran cantidad de malezas, como también material flotante, que cubre totalmente el agua, esto a su vez contribuye de alguna manera, a una alta contaminación, con respecto a la concentración de la materia orgánica que se eleva, esto en función de la demanda bioquímica oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y entre otros parámetros.

El problema radica, en las hojas que caen sobre el agua y de los sólidos gruesos, que no fueron retenidos en la fosa secundaria, y esto origina una capa de malezas, ya que existen árboles alrededor del canal, que desprenden sus hojas en cualquier época del año.

Figura 23. Canal trapezoidal, problemas de maleza y material flotante



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5. Lagunas de estabilización anaeróbicas

El sistema de lagunaje, está compuesto por cinco lagunas anaerobias, en series, a la primera laguna se le llama primaria, a la segunda secundaria, a la tercera terciaria, la cuarta cuaternaria y a la quinta quinquenaria, se identifican de esta manera, debido a que el efluente de la primera, pasa a ser afluente de la segunda, y el efluente de la segunda pasa a ser afluente de la tercera, y así sucesivamente, con el objeto de tener un efluente bien tratado, al momento de descargarlo a la quebrada u otro cuerpo receptor.

Estas fosas se caracterizan por ser muy profundas de 2 a 4 m de profundidad, en la superficie se mantiene siempre de un color gris, emanan olores como por ejemplo el sulfuro de hidrógeno (H_2S), un olor característico como a huevos podridos.

Estas lagunas fueron diseñadas y puestas en marcha en 1994, construidas por profesionales mexicanos, los diseños y planos de las lagunas no se encuentran dentro de la planta, es por ello que no se puede establecer con exactitud, la eficiencia de las lagunas, ya que existen varios factores de diseño que establece el buen funcionamiento de estas lagunas de estabilización, por el cual, depende de la carga orgánica de diseño y del tiempo de retención de las mismas.

2.10.5.1. Laguna primaria

En la laguna de estabilización primaria, se puede observar (véase la figura 24) que los taludes interiores no están bien diseñados, ni cuentan con revestimiento de concreto, esto ocasiona un crecimiento excesivo de plantas alrededor de las lagunas, asimismo existe una erosión del suelo que se lleva a cabo por el movimiento del agua, ocasionado por el aire.

Por el cual dichos factores reducen la eficiencia de esta laguna, originando una alta concentración de la materia orgánica, contribuyendo al mismo tiempo a la contaminación a cualquier medio. También existe bastante maleza dentro del agua, ocasionando un mal funcionamiento de la misma.

Además de otros tipos de factores, se encuentran una gran acumulación de sólidos en su mayoría granos de maíz quebrados, semienteros y enteros, que forman un sobrenadante de color café oscuro y a veces negro, que es de donde emanan los olores fuertes.

Figura 24. Primera laguna de estabilización anaerobia



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.2. Laguna secundaria

El funcionamiento de esta laguna secundaria anaerobia, presentan varios problemas, la mala operación se debe a diferentes factores, uno de ellos son los sólidos que pasan directamente de la laguna primaria, hasta esta nueva fosa, el cual produce un sobrenadante de color café oscuro, de esta manera genera un olor a sulfuro de hidrógeno (H_2S), también existen cantidades considerables de malezas dentro del agua, generada por los árboles que están alrededor.

Como se muestra en la figura 25, los taludes interiores de esta laguna, están en mal estado, asimismo no tienen un revestimiento de concreto, que pueda evitar el crecimiento de plantas acuáticas en las orillas y la erosión del talud por la acción de las olas, al mismo tiempo causa un mal desempeño de esta fosa. Esta la laguna presenta cortocircuito (zonas muertas, no existe mezcla completa del agua residual dentro de la laguna) y colmatación.

Figura 25. **Laguna de estabilización secundaria anaerobia**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.3. Laguna terciaria

Esta laguna presenta cortocircuito y colmatación, el color aparente del agua residual es amarillo, muestra alguna manifestación de olor a nixtamal, existe también un sobrenadante de color gris intenso que es de donde emanan los olores desagradables, de tal manera como las anteriores contiene considerables cantidades de sólidos, como granos de maíz semienteros, además hay malezas dentro del agua, por el desprendimiento de las hojas de los árboles que permanecen alrededor de la fosa, la cual está cubierta y por no ser acuáticas, estas están en proceso de descomposición.

En esta laguna se observa que los taludes interiores, no cuentan con un revestimiento, por el cual, el crecimiento de plantas acuáticas están presentes en toda las orillas, causando de esta manera una mala operación de la misma, la figura 26, muestra las condiciones de la laguna terciaria.

Figura 26. Condiciones físicas de la laguna terciaria



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.4. Laguna cuaternaria

La siguiente laguna de estabilización, denominada como cuaternaria debido a que recibe el afluente de la primera, segunda y la tercera laguna, para mejorar la calidad del agua residual, en el cual esta fosa, muestra un sobrenadante de color gris, y malezas que hay en las orillas.

También los taludes están mal diseñados ya que no tienen un revestimiento, lo cual ocasiona un crecimiento excesivo de hierbas alrededor de dicha laguna, de tal manera, disminuye el buen desempeño de operación, para remover la concentración de la materia orgánica, se percibe un olor a nixtamal, menos fuerte que las anteriores, esto se debe a que los sólidos gruesos, quedan depositados en su mayoría en las tres primeras lagunas. (Véase la figura 27)

Figura 27. **Presentación física de la laguna de estabilización cuaternaria**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.5. Laguna quinteraria

La presente laguna es donde se lleva a cabo el último proceso de tratamiento del agua residual, de forma natural, por el cual el sobrenadante que se encuentra en la superficie, es de color café oscuro y que sólo está formado por una gran cantidad de espuma, no se percibe olor a nixtamal, tampoco olor a sulfuro de hidrógeno (H_2S), asimismo los granos de maíz quebrados, semienteros y enteros quedan sedimentados en la tercera laguna.

Por el cual se ve que los taludes interiores no cuentan con una impermeabilización de concreto, esto ocasiona el crecimiento de las plantas acuáticas y también de plantas que crecen en las orillas, durante la época lluviosa. El agua residual que se descarga después al cuerpo receptor, no es muy aceptable en cuanto a las características mostradas, esto debido a un tratamiento inadecuado. La laguna se muestra en la figura 28.

Figura 28. **Quinta laguna de estabilización**



Fuente. Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.6. Fosa final

Al final del sistema de lagunas, existe una fosa hecha de concreto, de tal manera que el efluente que sale de la última laguna hace su recorrido por ella, antes que la descarga del agua residual sea conducida a la quebrada, en esta fosa se lleva a cabo parcialmente una pequeña sedimentación de lodo, como se muestra en la figura 29, la fosa siempre está cubierta de maleza, ya que estas hojas provienen de los árboles que están sembrados alrededor. Esto causa que el agua residual se contamine más, debido que la concentración de la materia orgánica aumenta y al mismo tiempo la carga orgánica, también se observa un crecimiento de hierbas en las orillas durante las épocas secas y lluviosas.

Figura 29. Condiciones físicas de la fosa final



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.7. Condiciones de las estructuras de entrada, interconexión y salida

Las condiciones del canal de entrada son pésimas, se encuentra saturada de nata y maleza, las estructuras de interconexión de una laguna a otra, son malas por la cantidad de maleza que se encuentran en los alrededores, asimismo no existen vertederos para mantener el nivel de agua en cada laguna, tampoco se puede medir el caudal de entrada en cada una de las lagunas, ya que no se cuenta con dispositivo que permita medir con claridad dicho parámetro. La estructura del vertedero de salida, no es la mejor, está llena de plantas acuáticas y malezas, que interrumpe el paso del agua residual. En las siguientes figuras se muestran, la entrada, interconexiones y salida, propiamente del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización anaerobias.

Figura 30. **Entrada del agua residual a la primera laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 31. **Interconexión de la primera a la segunda laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 32. **Interconexión de la segunda a la tercera laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 33. **Interconexión de la tercera a la cuarta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 34. **Interconexión de la cuarta a la quinta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 35. **Salida del agua residual en la última laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.10.5.8. Coloraciones anormales

Un sistema de lagunas anaerobias, normalmente tiene una coloración verde brilla en la salida (en la cuarta y quinta laguna). La entrada de una laguna anaerobia puede tener una coloración gris/café, en las dos primeras lagunas anaerobias, hasta el intermedio el agua debe ser verde brilla.

Las siguientes coloraciones son señales de mal funcionamiento de una laguna:

- Café: reducción en actividad de fotosíntesis
- Gris/Negro: Condiciones anaeróbicas
- Amarillo/Verde opaco: presencia de algas azules y verdes; significa baja en pH y oxígeno.

- Rosa o rojo: presencia de bacteria fotosintéticas del azufre, lo cual significa condiciones anaeróbicas.

2.11. Medidas de corrección y propuestas de mejoras para el sistema de tratamiento de aguas residuales

Dentro de las instalaciones de la industria, se buscaron todas las fallas posibles, y al mismo tiempo, se determinaron las medidas de corrección y las propuestas de mejoras.

2.11.1. Separación de sólidos gruesos a través de un tamizador

En el sistema de separación de los sólidos gruesos del agua residual, se realiza a través de un tamizador.

Que separa los granos de maíz del agua residual proveniente de la planta, donde se lleva a cabo el proceso de nixtamalización. (Cocción del maíz)

Como se muestra en la figura 36, es necesario el reemplazo del tamizador actual por otro mejor, ya que las condiciones actuales no muestran una buena separación de los sólidos, como se observa contiene agujeros considerables, por donde pasan los granos de maíz, y no quedan atrapados en el mismo.

Esto es un problema debido a que en las lagunas, estos sólidos se acumulan en la superficie; originando olores desagradables por su descomposición y al mismo tiempo, aumenta el valor de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y los sólidos sedimentables, causando un mal desempeño de operación de las lagunas.

Figura 36. **Condiciones desfavorable del tamizador**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.11.2. Colocación de una trampa de sólidos

En la fosa secundaria, es importante la colocación de una trampa de sólidos, con el objeto de remover una cierta cantidad sólidos que posee el agua, antes que el efluente haga su recorrido por el canal, y se descargue en la primera laguna, asimismo evitará el aumento de la carga orgánica, como también se reducirá la costra de color negra, que cubre toda la superficie del agua residual en las lagunas. De esta manera disminuirá la emanación del sulfuro de hidrógeno (H_2S), causada por la alfombra de costra negra, así como mejoraría la calidad del efluente que va hacia el cuerpo receptor.

La compuerta que debe colocarse, puede ser de una placa de acero inoxidable o una lámina galvanizada, las dimensiones de la trampa son las mismas que las que tiene la fosa, por el cual se debe colocar con una abertura de 10 cm por arriba de la superficie del tanque, de tal manera que el agua pase por debajo y los sólidos, quedan atrapados en la parte superior.

Figura 37. Colocación de la trampa de sólidos en la parte final



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.11.3. Uso de rejas en el canal trapezoidal

En la parte del canal, no se cuenta con una reja, que permita atrapar los sólidos que aún van contenido en el agua, ya que es un aspecto a considerar debido a los sólidos, por ser demasiados grandes, tardan bastante tiempo en descomponerse o degradarse, por el cual aumenta la acumulación de natas sobre la superficie del agua residual, de tal manera el uso de las rejas en un determinado punto del canal, servirá para atrapar los granos de maíz, así también material flotante (envase, cofias).

Las rejas se deben de colocarse en la parte de en medio del canal, con el objetivo de extraer todo material flotante, ya que en la planta no se ha incorporado ninguna rejilla, que pudiera dar un buen tratamiento del agua residual, en cuanto a la remoción de sólidos. Las dimensiones de las rejas deben de ser de barras de acero de sección 1" x 3/16" (sección hembra) soldadas a un angular de 1" x 1" x 3/16" en la parte superior y a una sección de 1" x 3/16" en la parte inferior. La separación libre entre barras será de 0,02 m (2 cm) y es necesario colocarlo con un ángulo de inclinación de 30° con respecto a la vertical. El punto recomendado de colocación de la reja se muestra en la figura 38.

Figura 38. **Punto propuesto de la colocación de la reja**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.11.4. Revestimiento de los taludes

Con respecto al revestimiento de los taludes de cada laguna, se puede apreciar en la figuras siguientes, que no tienen ningún revestimiento, que ayude a evitar el crecimiento de plantas acuáticas en las orillas de las mismas, se debe considerar este problema, asimismo tener en cuenta que la erosión de los taludes, se pueden darse a través del movimiento del agua causado por el viento. Otro factor a considerar que con el crecimiento de hierbas; aumenta considerablemente los valores de concentraciones de la materia orgánica.

Por lo tanto las lagunas no pueden remover la carga orgánica de una manera eficiente, de esta manera es necesario colocar un revestimiento de concreto, en todos los taludes de las lagunas con el objeto de mantener trabajando eficientemente las lagunas, y al mismo tiempo descargar un efluente con mejores características fisicoquímicas.

Figura 39. Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la primera laguna



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 40. **Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la segunda laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 41. **Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la tercera laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 42. **Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la cuarta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Figura 43. **Colocación de revestimiento de concreto en los taludes de la quinta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

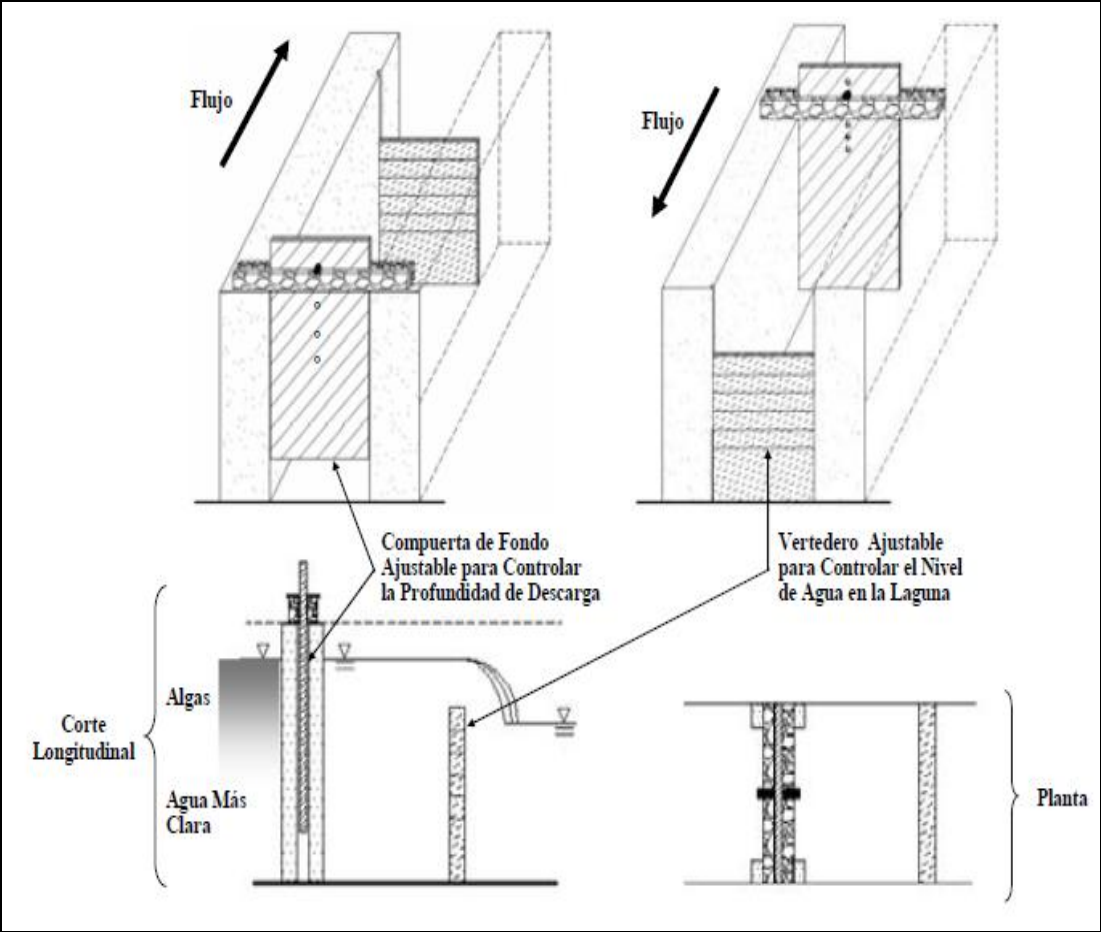
2.11.5. Medidores de caudal

Los medidores de caudal a la entrada de cada laguna es muy importante, por lo tanto deberá construirse para mantener el nivel de agua en cada laguna, y de esta manera los dispositivos instalados; ayudarán a medir la cantidad de agua residual que ingresa en cada laguna y a la vez se podrá medir el tiempo de residencia del agua dentro de las fosas. El tiempo de residencia es muy importante; debido a que mejora la calidad fisicoquímica del agua, que se descarga a un cuerpo receptor.

Como se muestran en las figuras 30, 31, 32, 33 y 34, las entradas no poseen un vertedero, para poder medir el flujo de agua en cada entrada, los detalles del diseño físico de una compuerta de fondo ajustable, para optimizar la calidad del efluente en términos de sólidos suspendidos; causados por la banda de algas en la laguna y del vertedero rectangular ajustable; para controlar el nivel de agua en la fosa de sedimentación, el cual se representa en la figura 44.

Asimismo debe considerar este diseño, para mantener el mismo nivel de agua en cada laguna, de tal forma se podrá controlar el tiempo de residencia, ya que en estas lagunas existe un cortocircuito hidráulico fuerte; que permite el afluente estar dirigido directamente por la salida, lo que niega utilizar el volumen entero de cada laguna de estabilización.

Figura 44. **Diseño físico de las compuertas y vertederos en cada entrada de cada laguna**



Fuente: Stewart M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 128.

2.11.6. Arbustos alrededor de las lagunas de estabilización

Se debe de considerar que los árboles sembrados en los diques de las lagunas, causan un gran problema, por el cual sirven de obstáculo al libre paso del viento, los árboles son fuentes de oxígeno, pero en este caso pueden afectar el funcionamiento de las lagunas.

Además de interferir en el paso del viento su sombra, ocasiona una reducción de la actividad bacteriana en la laguna; al no penetrar directamente la luz solar, asimismo causan una gran acumulación de hojas sobre el área superficial de la laguna, la consecuente reducción de la aireación natural por la presencia de árboles alrededor de las lagunas, podría afectar en parte la mezcla en las lagunas y el desarrollo de la actividad fotosintética.

Principalmente en la primera, segunda y tercera laguna, como se muestra en la figura 45, los árboles constantemente desprenden sus hojas, además de obstruir el paso del viento. Por lo tanto los árboles existentes en los diques deberán ser eliminados, para evitar problemas en el funcionamiento de las lagunas, de tal manera se deben de sembrarse a 5 m de las lagunas, para evitar los factores que influyen en la operación de las fosas.

Figura 45. **Aumento de carga orgánica, por la acumulación de hojas de árboles, en la primera, segunda y tercera laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.11.7. Acumulación de natas y materiales flotantes

La superficie de las lagunas debe estar libre de natas y materia flotante, la presencia de natas y material flotante; causa problemas al impedir la transferencia de oxígeno a la laguna por la fotosíntesis (al restringir el paso de la luz); en causar malos olores por su descomposición, y en atraer mosquitos y otros insectos (véase las figuras 39 y 43). La presencia puede ser causada por los siguientes factores:

- A. Falta de la eliminación de sólidos gruesos por la trampa de sólidos en la fosa secundaria, tamizador, y la falta de rejillas en el canal trapezoidal.
- B. La flotación de lodos en producir burbujeo muy activo, que los lleve hasta la superficie. Esto puede ser parte del proceso normal o una señal de la sobreacumulación de lodos, al fondo si hay mucha flotación de lodos.
- C. Falta de un mantenimiento adecuado.

La acumulación de natas y materia flotante se debe remover con un desnatador. Si la tasa de acumulación aumenta, se debe analizar para determinar la causa específica.

2.11.8. Malos olores

Las razones más frecuentes de la aparición de malos olores son las siguientes:

- A. Sobrecarga de DBO_5 que causa condiciones anaeróbicas. La sobrecarga puede ser causada por un sobrecaudal, mal diseño, períodos de retención hidráulica demasiado bajos; por cortocircuitos hidráulicos (véase las figuras 17 y 30) o sobreacumulación de lodos, y la descomposición anaeróbica de lodos demasiado profundos al fondo de la laguna.
- B. Presencia de químicos tensoactivos industriales, que disminuyen las actividades biológicas.
- C. La descomposición anaeróbica de natas y materia flotante, no removida de la superficie de la laguna (véase la figura 45).
- D. Un bloqueo de árboles o estructuras, que causa una reducción de transferencia de oxígeno inducida por el viento.

Se debe realizar una operación y mantenimiento rutinario para realizar una remoción de natas, material flotante, como responsabilidad del operador tener un control diario sobre la acumulación de natas, para disminuir el mal olor que producen las lagunas primaria, secundaria y terciaria.

2.11.9. Unificación de lagunas para aumentar el tiempo de retención

El propósito de una laguna anaerobia, es remover un porcentaje de la carga orgánica (DBO_5) y la mayoría de los sólidos suspendidos; bajo condiciones anaeróbicas por la acción de las bacterias anaerobias, y por lo tanto se disminuye el área requerida; para el sistema total de lagunas. En el sistema actual se dispone de cinco lagunas, por el cual el período de retención para cada una es demasiado corto, y se propone unificar las primeras dos lagunas, es decir unir la laguna uno y la laguna dos (ver figura en el apéndice), con el propósito de aumentar el tiempo de retención hidráulica, y a su vez disminuir la concentración de la materia orgánica y los sólidos.

Cabe mencionar que los valores de los sólidos, en suspensión son demasiados altos, asimismo los valores sobrepasan los que establece el reglamento guatemalteco, con la unificación de las dos fosas; se reduciría el 60% de los sólidos. Las dimensiones se encuentran en el plano diseñado, que se encuentra en la sección del apéndice.

2.11.10. Aireación

Las lagunas de maduración se caracterizan como lagunas aerobias, donde se mantiene un ambiente aeróbico en todo su estrato. El objeto principal de las lagunas aeróbicas, es proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de materia orgánica en términos de la DBO_5 y sólidos en suspensión.

En el interior de la planta de producción de harinas de maíz, sólo se cuentan con lagunas anaerobias como sistema de tratamiento de aguas residuales, la cual se debe de diseñar la laguna tres (ver figura en el apéndice), como una laguna aireada, mediante la introducción de aire u oxígeno, por medio de difusores sumergidos.

Un sistema de aireación con difusores, está formado por unos difusores sumergidos en el agua residual, de esta manera se lleva a cabo la aireación forzada; por medio de equipos mecánicos por donde circula el aire. Asimismo se propone la utilización de turbinas de aireación superficial (aireación mecánica) o la de difusores de burbuja gruesa (aireación sumergida), por consiguiente se reduciría el 40% de la materia orgánica, en términos de materia sólida.

2.11.11. Tratamiento químico

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos, la coagulación es un proceso que tiene por objeto, desestabilizar las partículas en suspensión, es decir facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado, por la inyección y dispersión rápida de productos químicos, asimismo la coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales; que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

De esta manera las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos (copos pequeños), por lo tanto los coagulantes al adicionarlos al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del solvente, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso. Un sustrato muy absorbente constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante; que más se utilizan para desestabilizar las partículas y producir *floc* son: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro férrico y sulfato férrico.

Cabe mencionar que es necesario construir un sistema de tratamiento químico en las instalaciones de la planta de producción de harinas de maíz, la construcción debe hacerse en medio de la cuarta y la quinta laguna (ver figura en el apéndice), con el objeto de disminuir el 30% de materia orgánica en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Se puede observar la propuesta en el apartado del apéndice.

2.11.12. Sedimentación secundaria

La sedimentación es una operación unitaria, consistente en la operación por la acción de la gravedad de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida; para obtener una suspensión concentrada y líquido claro. Este proceso es un paso final de la etapa del tratamiento secundario, en donde se retiran los flóculos biológicos, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En el tratamiento de las aguas residuales, se realiza para retirar la materia sólida fina orgánica e inorgánica, del efluente tratado.

Por el cual se debe sedimentar los flóculos, después del tratamiento químico que se propuso en la sección 2.11.11., donde se lleva a cabo la coagulación, que posteriormente es necesario que la laguna número 5 (ver figura en el apéndice); sea construida como una laguna de sedimentación secundaria, con el objetivo de sedimentar la materia sólida; que se forma a partir del proceso de coagulación.

Asimismo después de este tratamiento secundario, el nivel de los sólidos en suspensión disminuiría significativamente, y por lo tanto el vertido que salga de esta laguna; sea menos contaminante, el proceso de sedimentación secundaria reduciría el 60% de los sólidos en suspensión, y por lo tanto cumpliría con los valores que establece el reglamento actual, la propuesta de mejoras se encuentra en el apartado del apéndice.

Con respecto a las propuestas enunciadas en las secciones 2.11.9. a la 2.11.12., se puede demostrar que el nivel de contaminación en términos de sólidos en suspensión disminuiría significativamente, con relación al valor que se tiene para el mes de enero, que es de 1905,0 mg/L, al implementar la propuesta de la unificación de las lagunas para aumentar el tiempo de retención, reduciría el valor en 60%, que es equivalente a tener 1143 mg/L. Posteriormente al incluir la aireación, que reduciría el valor anterior (1143mg/L) en 40%, se tendría un nuevo valor de 685,8 mg/L, luego al tomar en cuenta el tratamiento químico; removería el 30% de la materia orgánica, que disminuiría el valor en 480,06 mg/L.

Por lo tanto en la última propuesta que se considera de construir una sedimentación secundaria, lograría reducir el valor en 60% que corresponde a tener el siguiente valor de 288,04 mg/L, al demostrar la reducción de la materia orgánica en términos de materia sólida, se establece un valor muy inferior a lo establecido por la ley guatemalteca. De esta manera se descargaría un efluente, de mayor calidad fisicoquímica, por el cual no causaría contaminación al medio ambiente. Además se lograría conservar el medio ambiente, ya que es responsabilidad de todos, conservar el recurso hídrico.

2.12. Operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento de rutina de las lagunas de estabilización, son decisivos para el buen funcionamiento del sistema. A continuación se detalla cada etapa, para obtener buenos resultados al momento de estar tratando el agua residual.

2.12.1. Conceptos generales

Aunque la principal ventaja de tratamiento de aguas residuales con lagunas; es su simplicidad operativa, eso no quiere decir que su operación y mantenimiento no son necesarios. En verdad un gran número de instalaciones de lagunas en Latinoamérica; han fracasado por fallas en las tareas de operación y mantenimiento. Este problema no es exclusivo de las lagunas: hay muchos problemas también en otros tipos de sistemas para el tratamiento de aguas residuales. Cualquier tecnología, desde la más complicada hasta la más sencilla, fracasará sin operación y mantenimiento adecuado. Ya que las lagunas requieren menos esfuerzos operativos que las otras tecnologías, la tarea clave es planificar los esfuerzos mínimos, para que la instalación tenga éxito a largo plazo.

Para evitar un fracaso en la operación y mantenimiento adecuado de cualquier sistema de lagunas se requiere, por lo mínimo, personal de tiempo completo, personal calificado en los factores básicos de operación y mantenimiento; programas de monitoreo para operar la laguna y evaluar su eficiencia; y un plan adecuado para la remoción, tratamiento y disposición final de lodos cada cinco a diez años. El factor clave que puede tener un efecto decidido en dar más énfasis a operación y mantenimiento; es el desarrollo y utilización de un manual de operación y mantenimiento para cada instalación.

2.12.2. Medición de caudal

La medida del caudal tiene una importancia decisiva, para evaluar el funcionamiento de las lagunas. Es fundamental tener un registro de los caudales, para determinar las cargas orgánicas e hidráulicas, el tiempo de retención hidráulica, y como resultado, la eficiencia del sistema de tratamiento y su capacidad. El operador debe registrar los caudales diariamente, para tener una historia de los caudales y poder anticipar los posibles problemas. Durante épocas de lluvias y secas se debe realizar una medición de caudales más intensiva, para obtener mejores datos del comportamiento hidráulico.

La lectura del caudal se debe realizar en períodos de 2 horas, durante 3 días consecutivos, luego se puede obtener el caudal promedio de ese período de muestreo. Se prefiere que esta actividad incluya sábado y domingo, para conocer el comportamiento de los caudales registrados en los fines de semana. Es importantísimo comparar la diferencia entre las épocas, para conocer bien la infiltración de agua pluvial; que puede dañar el proceso biológico de las lagunas.

2.12.3. Control de niveles del agua

Cada sistema de lagunas está diseñado para tener un nivel fijo de agua, es la responsabilidad del operador en mantener este nivel o la laguna no funcionará como debería funcionar, como se ve en la figura 46. Si el operador no puede mantener el nivel del agua del diseño con vertederos ajustables, la laguna tiene que ser evaluada para determinar la causa del problema.

Figura 46. **Laguna de estabilización con un nivel de agua, no apropiada**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.12.4. Vertederos de demasías

Para proteger el sistema de lagunas contra la introducción de sobrecargas hidráulicas por infiltración de aguas pluviales, el operador debe desviar el sistema cuando los caudales llegan al nivel de sobrecarga.

Se determina este nivel a través de investigaciones que utilizan los datos de los caudales del registro y los resultados de los análisis del laboratorio de las cargas de sólidos arenosos durante épocas lluviosas.

La presencia de lluvias que incrementen el caudal hasta el nivel de sobrecarga, el operador, a través del sistema de compuertas, debe desviar el flujo hacia la obra de descarga de emergencia fuera del sistema. Una vez que el flujo se normalice, el operador debe realizar la operación a la inversa, abriendo la entrada hacia las lagunas y cerrando el desvío de emergencia. Esta operación requiere una mayor presencia y vigilancia del operador durante el período lluvioso, y por lo tanto, se debe programar un rol de trabajo, para los operadores con 2 turnos de 12 horas en la época lluviosa.

2.12.5. Ajustamiento del nivel de descarga con la compuerta de fondo de salidas

Es responsabilidad del operador ajustar el nivel de descarga de cada laguna, para obtener un efluente de mejor calidad. El nivel puede cambiar semanalmente o mensualmente, dependiendo de la producción y concentración de algas en cada laguna. El operador, o el técnico del laboratorio, tienen que sacar muestras con profundidad del efluente y medir la concentración de sólidos suspendidos o de algas; con estos datos se puede determinar la profundidad óptima para ajustar la compuerta de fondo.

2.12.6. Detecciones sensoriales, olores y colores

Las detecciones de malos olores y colores son muy importantes, para conocer el grado de funcionamiento de las lagunas.

El operador debe estar pendiente de los olores y los colores, que sean extraños a los que deben existir normalmente en las lagunas.

Las lagunas anaerobias no deben tener olores fuertes, si están funcionando bien y el mantenimiento de las mismas se realiza adecuadamente, el color del agua residual en la entrada de una laguna anaerobia normalmente debe ser amarilla, por tratarse de un proceso de cocimiento de maíz, y el color de las aguas a la salida de las lagunas anaerobias, siempre debe ser verde, brilla por la concentración de algas presentes.

2.12.7. Medición de la profundidad de lodos

La única forma de verificar los cálculos de acumulación de lodos, es efectuar mediciones en las lagunas primarias (anaeróbicas); con una frecuencia de una vez por año. Se mide la acumulación de lodos al sumergir un palo suficiente largo para la profundidad de la laguna; sería 4 m para una laguna anaerobia. El palo debe tener un extremo revestido con tela blanca absorbente, se introduce éste en la laguna cuidando que permanezca en posición vertical, hasta que alcance el fondo; entonces se retira y se mide la altura manchada con lodos, que queda fácilmente retenido en la tela. Se debe efectuar cuadrículas con una lancha en la superficie de la laguna, para poder estimar la profundidad media y el volumen de lodos.

Con los datos obtenidos se puede determinar la tasa de acumulación de los lodos y el volumen de lodos en la laguna. Antes que la profundidad de los lodos llega a 0,5 m, y preferiblemente 0,3 m, y antes de que se ocupen 25% del volumen de la laguna, se debe planificar una limpieza durante la próxima época seca.

2.12.8. Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario de la instalación de las lagunas, debe ser el objetivo fundamental del operador. Si no se cuida diariamente de que este mantenimiento se realice, en poco tiempo la planta se deteriorará, con consecuencias funestas para el proyecto. El operador, por tanto, debe ser consciente de que su trabajo es muy importante, para el funcionamiento adecuado del sistema.

2.12.8.1. Tamices

La limpieza de los tamices se debe ejecutar diariamente con el uso de palas manuales. El sólido retirado debe ser enterrado, para evitar problemas de malos olores y la atracción de vectores como insectos y animales como roedores. El material debe ser recubierto con una capa de tierra de 0,1 a 0,3 m de espesor. Se aconseja excavar un lugar para enterrar dicho material poco a poco, cubriéndolo diariamente con cal o tierra. Asimismo la limpieza del tamizador, debe hacerse a cada media hora, ya que el tamizador puede taparse y al mismo tiempo deja de funcionar adecuadamente para separar los sólidos.

A continuación se muestra en la figura 47, como el tamizador acumula una cierta cantidad de material sólido, a cada quince minutos, la acumulación excesiva hace que el tamizador se tape y escurre toda el agua residual hacia la parte exterior, y por el cual es un problema de mantenimiento por parte del operador.

Figura 47. **Acumulación de sólidos en el tamizador**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.12.8.2. Canal trapezoidal

El canal trapezoidal funciona como un desarenador, el mantenimiento consiste en agitar el material sedimentado dos veces al día, una vez en la mañana y otra en la tarde; el propósito de la agitación es liberar el material orgánico atrapado por los sólidos arenosos, uno o dos veces por semana, o con una frecuencia mayor sí el volumen acumulado de sólidos arenosos lo demanda, se debe cerrar la cámara en operación y drenarla.

Después el material arenoso y sólido, debe ser removido y enterrado sanitariamente, el material puede ser enterrado en la misma excavación utilizada, para enterrar el material del tamizador, la responsabilidad del operador; es limpiar el desarenador diariamente cuando sea necesario, típicamente una vez por semana, sin embargo como se puede observar en la figura 48, el operador no está operando correctamente el desarenador. Parte del problema es la acumulación de hojas, que caen de los árboles y el problema de capacitación del operador en la operación correcta del desarenador.

Figura 48. **Material flotante en el canal trapezoidal**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.12.8.3. Remoción de natas y sólidos flotantes

La remoción de natas y sólidos flotantes se debe hacer diariamente o cuando sea necesario; para que no se extiendan demasiado sobre el área superficial de las lagunas, donde puede causar problemas de malos olores por su descomposición, y por la formación de lugares adecuados, para la cría de insectos como se ve en la figura 49.

Por lo general, la dirección del viento hace que las natas y sólidos flotantes; se acumulen en las esquinas de las lagunas. El operador necesitará un desnatador y una carretilla para la limpieza de natas; estos desechos deben ser enterrados en el mismo lugar, en donde se entierran los sólidos del desarenador y del tamizador. También, se deben mantener las pantallas de las salidas, para que las natas y sólidos flotantes no salgan de la laguna en el efluente, y por lo tanto las natas y las malezas afectarán la eficiencia de remoción de la DBO_5

Figura 49. **Acumulación de natas y malezas en la superficie de la laguna primaria**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.12.8.4. Céspedes, vegetación y malezas

El césped no debe llegar hasta el borde del agua, para evitar problemas como se ve en la figura 50. El operador debe mantener una faja limpia, al menos 20 cm por encima del borde del agua. La maleza debe ser retirada, sacada al aire y quemada o enterrada. Se debe presentar atención especial al surgimiento de jacintos y otras plantas acuáticas, las que deben ser extraídas, secadas y quemadas también.

Un problema especial que puede pasar, de vez en cuando es el crecimiento rápido de lemnas, los cuales pueden llegar a una laguna llevadas por el viento, o traídas por aves o animales. La tarea el operador es removerlas tan rápido como sea posible, antes de que cubran toda la superficie de la laguna.

Figura 50. **Crecimiento de la maleza en las orillas de la quinta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

2.12.8.5. Mosquitos, moscas, roedores y otros animales

La proliferación de mosquitos, moscas, otros insectos, y roedores, debe ser nula si se ha cumplido con la tarea de enterrar; todo lo relacionado con el material flotante y el material orgánico. Los mosquitos y otros insectos pueden ser controlados manteniendo limpias y sin vegetación los márgenes de las lagunas. En el caso que los mosquitos depositen sus huevos en la orilla, encima del revestimiento, se puede bajar el nivel del agua un poco para que sequen.

2.12.8.6. Taludes

El operador deberá inspeccionar una vez por semana el estado de los taludes, para verificar si ha ocurrido algún asentamiento o erosión. Los daños deben ser reparados, con material arcilloso y cubierto con el césped protector en el talud exterior, y con el revestimiento en el talud interior. La falta de revestimiento en las lagunas de estabilización, da como resultado el desbordamiento en los taludes exteriores, como se muestra en la figura 51

Figura 51. **Erosión en los taludes de la cuarta laguna**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Tabla VI. **Variables de control en estudio**

VARIABLES	DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	VM	VNM
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	X		x	
Demanda química de oxígeno (mg/L)	X		x	
Grasas y aceites (mg/L)	X		x	
Nitrógeno (mg/L)	X		x	
Fósforo (mg/L)	X		x	
Sólidos en suspensión (mg/L)	X		x	
Color (unidades Pt-Co)	X		x	
Potencial de hidrógeno (adimensional)	X		x	
Materia flotante (visual)	X		x	
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	X		x	
Temperatura (°C)		X	x	
Caudal (m ³ /día)		X	x	
VM: Variables monitoreadas. VNM: Variables no monitoreadas.				

Fuente: elaboración propia.

3.1. Definición de variables

Las variables dependientes están relacionadas con la concentración de la materia orgánica, que se genera a partir del proceso de la cocción del maíz, están estrechamente relacionadas con la carga orgánica, mientras tanto las variables independientes no tienen relación con el proceso que genera el agua residual, por lo tanto estas variables fueron clasificadas de esta manera.

3.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno

Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado, en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable.

3.1.2. Demanda química de oxígeno

Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química. Variable que califica el agua residual, por medio de la cantidad de oxígeno, ya que este parámetro determina el agotamiento de oxígeno en el agua, dando lugar a la muerte de cualquier vida acuática.

3.1.3. Grasas y aceites

Las grasas y aceites de origen vegetal o animal, son triglicéridos o también llamados ésteres de la glicerina, con ácidos grasos de larga cadena de hidrocarburos, que generalmente varían en longitud.

De forma general, cuando un triglicérido es sólido a temperatura ambiente, se le conoce como grasa, y si se presenta como líquido se dice que es un aceite. El maíz proveniente de plantas oleaginosas, contiene trazas de aceite esencial, y entre otros principios activos que posee.

3.1.4. Nitrógeno

Es un elemento esencial para la vida, es un componente de las proteínas y los ácidos nucleicos, por el cual el agua residual contiene una gran cantidad de nutrientes; para el crecimiento de las plantas, que se puede evaluar a través de la concentración de nitrógeno, que puede contener el efluente. En niveles excesivos produce un crecimiento elevado de algas en los lagos.

3.1.5. Fósforo

Es un elemento químico esencial en los seres vivos, por lo tanto desde el punto de vista de aguas residuales, el fósforo es el nutriente más usual, que limita el proceso de eutrofización en un lago, consecuencia del aumento de nutrientes. Al igual que el nitrógeno en niveles altos, se genera un crecimiento elevado de algas y provocando asfixias de los peces por falta de oxígeno en el agua.

3.1.6. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal, que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas; que poseen estas partículas, que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua.

3.1.7. Temperatura

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como; energía sensible, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

3.1.8. Potencial de hidrógeno

Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+), presentes en determinadas sustancias. Variable que indica que tipo de agua residual se descarga, evalúa si existe una solución ácida o alcalina, al momento que el efluente es conducido a un lago u otro recipiente natural, donde existe vida acuática.

3.1.9. Color

Es un fenómeno fisicoquímico asociado a las innumerables combinaciones de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, que nos permite diferenciar los objetos con mayor precisión. El color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta, se le denomina, color aparente, una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como color verdadero. Parámetro que determina la calidad del agua residual, al momento de tener un proceso de depuración en ciertas lagunas de estabilización y también califica la buena eficiencia de las mismas.

3.1.10. Sólidos sedimentables

Son aquellos sólidos suspendidos, que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono *Imhoff*), en un cierto periodo de tiempo. Este parámetro es muy importante, ya que estos sólidos son los que forman generalmente los bancos de lodos en los cuerpos de agua, en este caso son las lagunas de estabilización.

3.1.11. Materia flotante

Materia o sustancias que permanecen temporal o permanentemente en la superficie del cuerpo de agua, limitando su uso. Estas sustancias pueden ser natas y espumas que entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

3.1.12. Caudal

Se denomina caudal al volumen de agua que arrastra un río, o cualquier otra corriente de agua, para preservar los valores ecológicos en el cauce de la misma, se mide en metros cúbicos por segundo que es la cantidad de fluido, que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen, que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Variable que indica la cantidad de carga orgánica, parte del agua residual que se descarga.

Asimismo las caracterizaciones físicas y químicas de las materias primas e insumos a nivel laboratorio, no presentan materias extrañas, por el cual se justifica que no existen metales pesados, que pudieran existir en la descarga del agua residual, por lo tanto no se incluyen metales pesados.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El siguiente estudio de investigación, se realizó en las instalaciones de la planta procesadora de harinas de maíz de origen vegetal, que está ubicada en el kilometro 50.5 Carretera Interamericana El Tejar, Chimaltenango, Guatemala. Dicha empresa se dedica a la producción de harina derivados de maíz, el producto que se obtiene de la planta, consiste en harina de maíz empacada en paquetes de 2 y 50 libras.

Esta empresa sobresale por utilizar los altos niveles estándares de calidad, para la elaboración de su producto, utilizando los métodos más adaptados que se requieren hoy en día, maquinarias y equipos de las más alta tecnología, que se dispone en los procesos. El campo de estudio estuvo delimitado sólo por el sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de las cinco lagunas de estabilización, que se encuentra en el interior de la planta, ya que es el principal esquema sobre el tratamiento del efluente, antes de su descarga al cuerpo receptor.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: P.I. Modesto Antonio Tala Sal

Asesor: Ing. Alfonso Estuardo Tock Escobar

Consultoría: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias e Ing. Héctor Santisteban Morán

Personal: Técnicos y analistas del laboratorio FQB

3.4. Recursos materiales disponibles

Para la toma de muestras del agua residual en diferentes puntos, se emplearon los siguientes recursos.

3.4.1. Equipo y cristalería

- Cono *imhoff* de 1 L
- Estufa
- Balanza analítica
- Potenciómetro digital
- Ampollas de decantación
- *Beackers* de 100 ml
- Matraces.50 ml
- Hieleras para muestras
- Espectrofotómetro
- Termómetro digital
- Automuestrador *ISCO, GLS Samper*
- Medidor de caudal automático, flujo por área. *Isco 2150*
- Colorímetro
- Galones de 1 L

3.4.2. Herramientas

- Guantes
- Mascarillas
- Coflas
- Cascos
- Bata

3.4.3. Material de escritorio

- Papelería de oficina
- Impresora
- Memoria USB
- Computadora portátil
- Discos compactos (CD)
- *Software* de computadora: *Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio, Nitro profesional.*

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

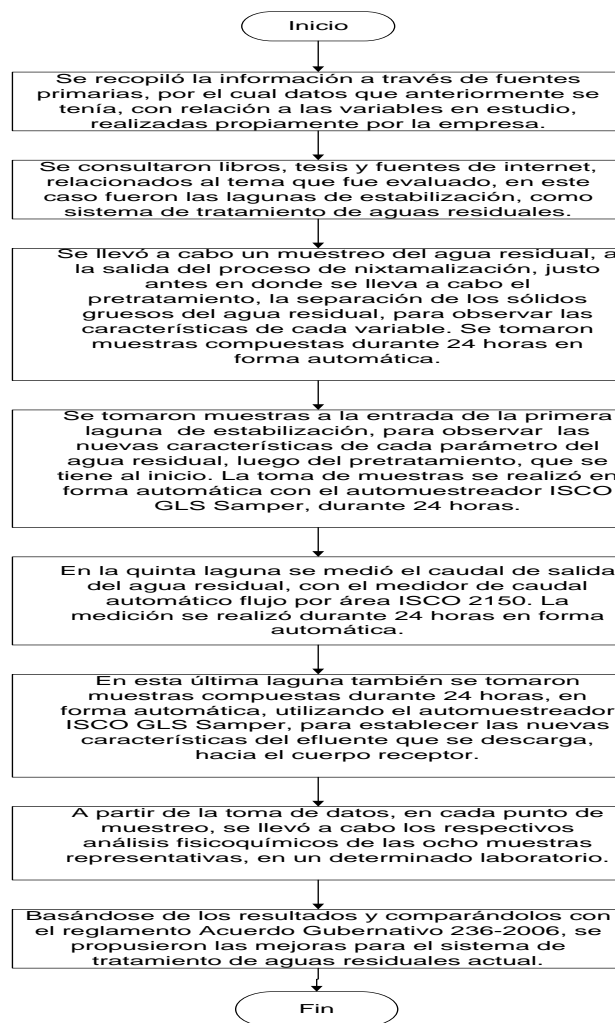
Para la presente investigación sobre la evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se tomaron muestras compuestas del agua residual en diferentes épocas del año, para determinar los parámetros físicos y químicos de las variables en estudio, todo esto se realizó a nivel laboratorio, por medio de métodos como el potenciométrico, respirométrico, gravimétrica y colorimétrico. Por lo tanto se utilizó la técnica cuantitativa, debido a que las variables que se caracterizaron, eran susceptibles de medirse y relacionarlas entre sí, de esta manera se pudo realizar un análisis a nivel macro con respecto al comportamiento de cada una de los parámetros, sin modificarlos en sus valores de medición.

Con relación a los datos medidos, se logró comparar, los valores esperados de cada parámetro, con los valores establecidos por el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006. Y de esta manera se logró proponer procedimientos adecuados, para un tratamiento eficiente con respecto al efluente tratado a través de las lagunas de estabilización, como también los factores que influyen en la calidad del efluente.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En la fase de investigación, se siguieron los siguientes pasos, con el objeto de obtener la información necesaria para llevar a cabo los análisis de laboratorio y estadísticos.

Figura 52. **Procesos para la recolección de datos**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Con respecto a los valores que se obtuvieron de cada variable medida, durante todo el periodo de estudio del siguiente trabajo de graduación, se llevó a cabo, en forma clara mediante, cuadros estadísticos, que sirvió de base para la presentación en forma gráfica, después de procesar la información a través de un *software* estadístico. Desde luego se presentaron los resultados tabulados en tablas distribuidas en columnas y filas, para cada parámetro que fueron estudiados, de esta forma se colocaron las fuentes y los números respectivos de cada tabla y de cada gráfica.

Por el cual se obtuvieron los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual y a través de los valores individuales de cada variable, se procedió a realizar un análisis estadístico, asimismo se realizó una comparación de medidas con respecto a los valores que registra el reglamento de cumplimiento de descargas de agua residual. En este estudio se representaron las respectivas unidades de cada parámetro físico y químico.

3.8. Análisis estadístico

Para fines de análisis estadístico, se llevó a cabo un estudio cuantitativo, por el cual depende de cada variable cuantitativa, que se estudió en esta investigación. Ya que las operaciones aritméticas ordinarias, sólo tienen sentido con los datos cuantitativos. Para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales, se tomaron muestras compuestas del agua residual, a partir de este proceso se hizo un análisis a nivel laboratorio, en donde se obtuvieron los resultados correspondientes de cada variable. Y de esta manera se establecieron las condiciones actuales de las lagunas de estabilización, como sistema de tratamiento natural.

Para comprender e interpretar mejor la información, se contó con la ayuda de la estadística descriptiva y la inferencia estadística, como dos formas de convertir los datos, en información estadística, a partir de los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos. Para un buen manejo de la información y buen procesamiento de la misma, se utilizaron métodos numéricos de las dos estadísticas descritas anteriormente.

A. La media aritmética para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

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

(Ecuación 1)

(Ref. 1)

Donde:

\bar{X} : dato promedio de cada variable.

x_i : dato i, determinado para cada variable.

n: es el número de datos obtenidos en cada punto para cada variable.

Sustituyendo valores para los datos obtenidos de la variable de demanda química de oxígeno, correspondiente para el mes de marzo de 2010, en los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$\bar{x} = \frac{17\,970,00 \frac{mg}{L} + 4\,180,00 \frac{mg}{L}}{2}$$

$$\bar{x} = 11\,075,00 \frac{mg}{L}$$

B. Desviación estándar para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

(Ref. 1)

Donde:

S: es la desviación estándar de la variable determinada.

\bar{x} : dato promedio de cada variable.

x_i : dato obtenido para cada variable en el punto i.

n: es el numero de datos obtenidos de cada variable.

Sustituyendo valores para los datos obtenidos de la variable de demanda química de oxígeno, correspondiente para el mes de marzo de 2010, en los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$S = \sqrt{\frac{\left(17\,970,00 \frac{mg}{L} - 11\,075,00 \frac{mg}{L}\right)^2 + \left(4\,180,00 \frac{mg}{L} - 11\,075,00 \frac{mg}{L}\right)^2}{2 - 1}}$$

$$S = 9\,751,00 \frac{mg}{L}$$

C. Coeficiente de variación de Pearson para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$C_V = \frac{S}{\chi} * 100\% \quad \text{(Ecuación 3)}$$

(Ref. 1)

Donde:

C_v : es el coeficiente de variación del parámetro determinado.

S : es la desviación estándar del parámetro.

\bar{X} : dato promedio de la variable.

Sustituyendo valores para los datos obtenidos de la variable de demanda química de oxígeno, correspondiente para el mes de marzo de 2010, en los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$C_v = \frac{9\,751,00 \frac{mg}{L}}{11\,075,00 \frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$C_v = 88,05\%$$

D. Eficiencia en remoción para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$\%Ef = \frac{p1 - p2}{p1} * 100\%$$

(Ecuación 4)

(Ref. 1)

Donde:

$\%ef$: es el porcentaje de eficiencia.

$p1$: es el punto de entrada del afluente en determinada laguna (donde se determina el valor del parámetro).

$p2$: es el punto de salida del efluente en una laguna monitoreada (donde se determina el valor del parámetro).

Sustituyendo valores para los datos obtenidos de la variable de demanda química de oxígeno, correspondiente para el mes de marzo de 2010, en los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$\%Ef = \frac{17\,970,00 \frac{mg}{L} - 4\,180,00 \frac{mg}{L}}{17\,970,00 \frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$\%Ef = 76,74\%$$

E. Prueba de hipótesis para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

Para la prueba de hipótesis, se realizó a través del reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006, en donde se tiene especificado los valores de cumplimiento para cada parámetro en estudio, así como también los métodos numéricos que se describen anteriormente, regidos por el reglamento.

El objetivo de este proyecto es evaluar y proponer mejoras, para el sistema de tratamiento de aguas residuales actual. A través de este objetivo, se desea que los valores de las variables en estudio, sean inferiores según lo especificado por el reglamento y de esta manera; se pudo analizar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales. Las hipótesis nula y alternativa se construyeron de la siguiente manera:

$$H_0: \mu \geq \mu_0$$

$$H_a: \mu \leq \mu_0$$

Rechazar: H_0 si $t > t_{cr}$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

(Ecuación 5)

(Ref. 1)

Donde:

H_0 : es la hipótesis nula.

H_a : hipótesis alternativa.

μ_0 : es el dato teórico de los parámetros en estudio.

μ : es el valor determinado para cada variable.

t: valor experimental de la curva normal de distribución.

t_{cr} : es el valor de la curva normal de distribución para una confianza del 95%.

\bar{X} : dato promedio de la variable.

s : es la desviación estándar del parámetro.

n: es el número de datos obtenidos de cada variable.

Sustituyendo el valor para el dato obtenido de la variable de sólidos en suspensión, correspondiente para el mes de marzo de 2010, en los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$H_0: 8\ 614,50 \frac{mg}{L} \geq 600 \frac{mg}{L}$$

$$H_a: 8\ 614,50 \frac{mg}{L} \leq 600 \frac{mg}{L}$$

Rechazar: H_0 si $t > t_{cr}$

$$t = \frac{11\ 317,25 \frac{mg}{L} - 600 \frac{mg}{L}}{3\ 822,27 \frac{mg}{L} / \sqrt{2}}$$

$$t = 3,9653$$

El t_{cr} crítico se determina en la tabla de t de Student, ya que es una prueba de dos colas y se trabaja al 95% de confianza se busca el valor de t_{cr} donde el área de derecha a izquierda acumulada sea de 0,025, los grados de libertad se determinan como $v=n-1$, en este caso son $v = 2-1 = 1$, por lo tanto t_{cr} crítico es igual a 12,7062. Para rechazar la hipótesis nula (H_0), t de prueba debe ser mayor a t_{cr} crítico. En caso contrario se acepta la hipótesis alterna como correcta. Ya que $3,9653 < 12,7062$, se afirma que la hipótesis nula es la correcta y se acepta, y la hipótesis alterna se rechaza.

4. RESULTADOS

Tabla VII. Determinación de la composición del agua residual, primer muestreo, marzo 2010

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 03/03/2010	
	Puntos de muestreo	
	P1	P2
Demanda química de oxígeno (mg/L)	17 970,00	4180,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8040,00	2010,00
Sólidos sedimentables (cm3/L)	270,00	170,00
Sólidos en suspensión (mg/L)	14 020,00	8614,50
Materia flotante (visual)	Presente	Presente
Grasas y aceites (mg/L)	24,00	15,00
Nitrógeno (mg/L)	47,50	49,80
Fósforo (mg/L)	1,20	0,40
Color (unidades Pt-Co)	95 000,00	22 900,00
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final).		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Determinación de la temperatura y potencial de hidrógeno, como valores puntuales del primer muestreo, marzo 2010**

Identificación de la muestra	Fecha	Hora de medición	Parámetros fisicoquímicos			
			Temperatura (oC)	Promedio	pH	Promedio
P1	02/03/2010	12:52 p.m	65,00	67,20	10,62	10,51
	03/03/2010	15:55 p.m	69,40		10,40	
P2	02/03/2010	12:00 p.m	26,40	26,15	7,58	7,38
	03/03/2010	15:14 p.m	25,90		7,18	
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final).						

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Medición de caudal en la última laguna, marzo 2010**

	Punto de muestreo	
	Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final) punto 2.	
Fecha	Horas	Caudal(L/s)
02/03/2010	01:00:00 p.m.	2,74
	01:15:00 p.m.	2,52
	01:30:00 p.m.	2,56
	01:45:00 p.m.	2,63
	02:00:00 p.m.	2,57

Continúa tabla IX.

02/03/2010	02:15:00 p.m.	2,49
	02:30:00 p.m.	2,50
	02:45:00 p.m.	2,54
	03:00:00 p.m.	2,49
	03:15:00 p.m.	2,52
	03:30:00 p.m.	2,55
	03:45:00 p.m.	2,00
	04:00:00 p.m.	1,97
	04:15:00 p.m.	2,00
	04:30:00 p.m.	2,06
	04:45:00 p.m.	2,42
	05:00:00 p.m.	2,87
	05:15:00 p.m.	2,83
	05:30:00 p.m.	2,74
	05:45:00 p.m.	2,79
	06:00:00 p.m.	2,80
	06:15:00 p.m.	2,74
	06:30:00 p.m.	2,75
	06:45:00 p.m.	2,80
	07:00:00 p.m.	2,68
	07:15:00 p.m.	2,75
	07:30:00 p.m.	2,81
	07:45:00 p.m.	2,84
	08:00:00 p.m.	2,62
	08:15:00 p.m.	2,65
	08:30:00 p.m.	2,71
	08:45:00 p.m.	2,89
	09:00:00 p.m.	3,04
	09:15:00 p.m.	3,15
	09:30:00 p.m.	2,90
09:45:00 p.m.	2,57	
10:00:00 p.m.	2,68	
10:15:00 p.m.	2,70	
10:30:00 p.m.	2,69	
10:45:00 p.m.	2,69	

Continúa tabla IX.

03/03/2010	11:00:00 p.m.	2,67
	11:15:00 p.m.	2,65
	11:30:00 p.m.	2,61
	11:45:00 p.m.	2,56
	12:00:00 a.m.	2,67
	12:15:00 a.m.	2,64
	12:30:00 a.m.	2,63
	12:45:00 a.m.	2,41
	01:00:00 a.m.	2,80
	01:15:00 a.m.	2,71
	01:30:00 a.m.	2,63
	01:45:00 a.m.	2,85
	02:00:00 a.m.	2,83
	02:15:00 a.m.	2,91
	02:30:00 a.m.	2,77
	02:45:00 a.m.	2,83
	03:00:00 a.m.	2,94
	03:15:00 a.m.	2,96
	03:30:00 a.m.	2,94
	03:45:00 a.m.	2,97
	04:00:00 a.m.	3,01
	04:15:00 a.m.	2,98
	04:30:00 a.m.	3,09
	04:45:00 a.m.	3,18
	05:00:00 a.m.	3,18
	05:15:00 a.m.	3,24
	05:30:00 a.m.	3,21
	05:45:00 a.m.	3,18
	06:00:00 a.m.	3,22
	06:15:00 a.m.	3,20
06:30:00 a.m.	3,13	
06:45:00 a.m.	3,26	
07:00:00 a.m.	3,01	
07:15:00 a.m.	2,98	

Continúa tabla IX.

03/03/2010	07:30:00 a.m.	3,05
	07:45:00 a.m.	3,14
	08:00:00 a.m.	3,20
	08:15:00 a.m.	3,29
	08:30:00 a.m.	3,16
	08:45:00 a.m.	3,54
	09:00:00 a.m.	3,31
	09:15:00 a.m.	3,05
	09:30:00 a.m.	3,06
	09:45:00 a.m.	2,99
	10:00:00 a.m.	2,90
	10:15:00 a.m.	2,91
	10:30:00 a.m.	2,90
	10:45:00 a.m.	2,84
	11:00:00 a.m.	2,86
	11:15:00 a.m.	2,84
	11:30:00 a.m.	2,87
	11:45:00 a.m.	2,82
	12:00:00 p.m.	2,87
	12:15:00 p.m.	2,83
12:30:00 p.m.	2,77	
12:45:00 p.m.	2,84	
01:00:00 p.m.	2,86	
Caudal diario promedio (L/s)		2,81
Caudal total diario (m ³ /día)		243,17
Caudal total diario (L/día)		243 167,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Carga de demanda bioquímica de oxígeno, en kg/día, marzo 2010**

				CARGAS (kg/día)	
Fecha: 03/03/2010	Caudal total diario (L/día)	Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)(mg/L)	Demanda química de oxígeno (DQO) (kg/día)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)(kg/día)
P2	243 167,01	4180,00	2010,00	1016,44	488,77
P2: Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final).					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Valores estadísticos de los parámetros en estudio**

Fecha: 03/03/2010					
Parámetros fisicoquímicos	P1	P2	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Demanda química de oxígeno (mg/L)	17 970,00	4180,00	11 075,00	9751,00	88,05
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8040,00	2010,00	5025,00	4263,85	84,85
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	270,00	170,00	220,00	70,71	32,14
Sólidos en suspensión (mg/L)	14 020,00	8614,50	11 317,25	3822,27	33,77
Grasas y aceites (mg/L)	24,00	15,00	19,50	6,36	32,64
Nitrógeno (mg/L)	47,50	49,80	48,65	1,63	3,34
Fósforo (mg/L)	1,20	0,40	0,80	0,57	70,71
Color (Pt-Co)	95 000,00	22 900,00	58 950,00	50 982,40	86,48
pH (adimensional)	10,51	7,38	8,95	2,21	24,74
Temperatura (oC)	67,20	26,15	46,68	29,03	62,19
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento.					
P2: Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final).					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Eficiencia en remoción para el sistema de tratamiento de aguas residuales, para el mes de marzo de 2010**

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 03/03/2010		
	P1	P2	Eficiencia en remoción (%) P1 - P2
Demanda química de oxígeno (mg/L)	17 970,00	4180,00	76,74
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8040,00	2010,00	75,00
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	270,00	170,00	37,04
Sólidos en suspensión (mg/L)	14 020,00	8614,50	38,56
Grasas y aceites (mg/L)	24,00	15,00	37,50
Nitrógeno (mg/L)	47,50	49,80	-4,84*
Fósforo (mg/L)	1,20	0,40	66,67
Color (unidades Pt-Co)	95 000,00	22 900,00	75,89
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final). (*) El valor negativo indica un aumento en el valor durante el proceso de tratamiento.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Valores promedios de los parámetros, cumplimiento con el artículo #20**

Fecha: 03/03/2010					
Parámetros fisicoquímicos	Promedio	Etapa 1. Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	11 075,00	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	5025,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	220,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	11 317,25	600	Se acepta	Se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	19,50	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple

Continúa tabla XIII.

Nitrógeno (mg/L)	48,65	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Fósforo (mg/L)	0,80	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	58 950,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	8,94	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Presente	Ausente	-----	-----	No cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Valores de los parámetros que cumplen con el artículo #20**

Fecha: 03/03/2010					
Parámetros fisicoquímicos	P2	Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	4180,00	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	2010,00	-----	-----	-----	-----

Continúa tabla XIV.

Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	170,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	8614,50	600	Se acepta	se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	15,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Nitrógeno (mg/L)	49,80	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Fósforo (mg/L)	0,40	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	22 900,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	7,38	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Presente	Ausente	-----	-----	No cumple
P2: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Valores de los parámetros para el mes de septiembre de 2010, segundo muestreo**

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 07/09/2010		
	Puntos de muestreo		
	P1	P2	P3
Demanda química de oxígeno (mg/L)	28 250,00	-----	13 550,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	14 070,00	-----	8040,00
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	500,00	450,00	90,00
Sólidos en suspensión (mg/L)	11 522,00	9252,00	2376,00
Materia flotante (visual)	Presente	Presente	Presente
Grasas y aceites (mg/L)	10,60	-----	33,40
Nitrógeno (mg/L)	115,00	-----	18,00
Fósforo (mg/L)	3,00	-----	2,00
Color (unidades Pt-Co)	49 800,00	-----	2260,00
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Punto de ingreso de efluente en la primera laguna. P3: Salida de agua residual, en la última laguna, hacia el cuerpo receptor, como punto de descarga final.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Valores puntuales de las variables de temperatura y potencial de hidrógeno correspondiente para el segundo muestreo, mes de septiembre de 2010**

Identificación de la muestra	Fecha	Hora de medición	Parámetros fisicoquímicos			
			Temperatura (oC)	Promedio	pH	Promedio
P1	06/09/2010	16:30 p.m	68,50	64,30	10,22	10,29
	07/09/2010	16:40 p.m	60,10		10,35	
P2	06/09/2010	17:00 p.m	48,00	45,60	5,47	5,55
	07/09/2010	17:01 p.m	43,20		5,62	
P3	06/09/2010	18:00 p.m	24,00	17,7	6,81	6,83
	07/09/2010	17:32 p.m	11,40		6,85	
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Punto de entrada de agua residual, en la primera laguna. P3: Salida de agua residual en la última laguna, hacia el cuerpo receptor, como punto de descarga final.						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultado de la medición de caudal en la última laguna, mes de septiembre de 2010**

	Punto de muestreo	
	Salida del agua residual, después de la última laguna (descarga final) punto 3.	
Fecha	Horas	Caudal(L/s)
06/09/2010	06:30:00 a.m.	2,57
	06:45:00 a.m.	2,61
	07:00:00 a.m.	2,59
	07:15:00 a.m.	2,64
	07:30:00 a.m.	2,61
	07:45:00 a.m.	2,61
	08:00:00 a.m.	2,62
	08:15:00 a.m.	2,64
	08:30:00 a.m.	2,66
	08:45:00 a.m.	2,68
	09:00:00 a.m.	2,67
	09:15:00 a.m.	2,70
	09:30:00 a.m.	2,69
	09:45:00 a.m.	2,67
	10:00:00 a.m.	2,75
	10:15:00 a.m.	2,79
	10:30:00 a.m.	2,70
	10:45:00 a.m.	2,72
	11:00:00 a.m.	2,70
	11:15:00 a.m.	2,71
	11:30:00 a.m.	2,79
	11:45:00 a.m.	2,84
	12:00:00 p.m.	2,83
	12:15:00 p.m.	2,87
12:30:00 p.m.	2,81	
12:45:00 p.m.	2,77	
01:00:00 p.m.	2,73	

Continúa tabla XVII.

06/09/2010	01:15:00 p.m.	2,76
	01:30:00 p.m.	2,74
	01:45:00 p.m.	2,68
	02:00:00 p.m.	2,71
	02:15:00 p.m.	2,66
	02:30:00 p.m.	2,63
	02:45:00 p.m.	2,66
	03:00:00 p.m.	2,67
	03:15:00 p.m.	2,62
	03:30:00 p.m.	2,67
	03:45:00 p.m.	2,63
	04:00:00 p.m.	2,66
	04:15:00 p.m.	2,69
	04:30:00 p.m.	2,43
	04:45:00 p.m.	2,52
	05:00:00 p.m.	2,59
	05:15:00 p.m.	2,38
	05:30:00 p.m.	2,42
	05:45:00 p.m.	2,47
	06:00:00 p.m.	2,43
	06:15:00 p.m.	2,34
	06:30:00 p.m.	2,30
	06:45:00 p.m.	2,37
	07:00:00 p.m.	2,22
	07:15:00 p.m.	2,26
	07:30:00 p.m.	2,27
	07:45:00 p.m.	2,22
	08:00:00 p.m.	2,25
	08:15:00 p.m.	2,30
	08:30:00 p.m.	2,31
	08:45:00 p.m.	2,30
	09:00:00 p.m.	2,31
09:15:00 p.m.	2,37	
09:30:00 p.m.	2,55	
09:45:00 p.m.	2,79	

Continúa tabla XVII.

07/09/2010	10:00:00 p.m.	2,99
	10:15:00 p.m.	3,07
	10:30:00 p.m.	3,02
	10:45:00 p.m.	3,02
	11:00:00 p.m.	2,96
	11:15:00 p.m.	2,77
	11:30:00 p.m.	2,77
	11:45:00 p.m.	2,58
	12:00:00 a.m.	2,45
	12:15:00 a.m.	2,38
	12:30:00 a.m.	2,33
	12:45:00 a.m.	2,29
	01:00:00 a.m.	2,17
	01:15:00 a.m.	2,03
	01:30:00 a.m.	1,95
	01:45:00 a.m.	1,98
	02:00:00 a.m.	1,91
	02:15:00 a.m.	1,89
	02:30:00 a.m.	1,89
	02:45:00 a.m.	1,86
	03:00:00 a.m.	1,87
	03:15:00 a.m.	1,89
	03:30:00 a.m.	1,99
	03:45:00 a.m.	2,11
	04:00:00 a.m.	2,24
04:15:00 a.m.	2,51	
04:30:00 a.m.	2,60	
04:45:00 a.m.	2,69	
05:00:00 a.m.	2,74	
Caudal diario promedio (L/s)		2,52
Caudal total diario (m ³ /día)		217,52
Caudal total diario (L/día)		217 519,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Carga de demanda bioquímica, valores para el segundo muestreo, septiembre de 2010**

				CARGAS (kg/día)	
Fecha: 07/09/2010	Caudal total diario (L/día)	Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)(mg/L)	Demanda química de oxígeno (DQO) (kg/día)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (kg/día)
P3	217 519,12	13 550,00	8040,00	2947,38	1748,85
P3: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor, como punto de descarga final.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Valores estadísticos correspondientes para el segundo muestreo, septiembre de 2010**

Fecha: 07/09/2010						
Parámetros fisicoquímicos	P1	P2	P3	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación (%)
Demanda química de oxígeno (mg/L)	28 250,00	-----	13 550,00	20 900,00	10 394,47	49,73
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	14 070,00	-----	8040,00	11 055,00	4263,85	38,57
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	500,00	450,00	90,00	346,67	223,68	64,52
Sólidos en suspensión (mg/L)	11 522,00	9252,00	2376,00	7716,67	4762,38	61,72
Grasas y aceites (mg/L)	10,60	-----	33,40	22,00	16,12	73,28
Nitrógeno (mg/L)	115,00	-----	18,00	66,50	68,59	103,14
Fósforo (mg/L)	3,00	-----	2,00	2,50	0,71	28,28

Continúa tabla XIX.

Color (Pt-Co)	49 800,00	-----	2260,00	26 030,00	33 615,86	129,14
pH (adimensional)	10,29	5,55	6,83	7,56	2,45	32,45
Temperatura (oC)	64,30	45,60	17,70	42,53	23,45	55,14
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Entrada de agua residual en la primera laguna. P3: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor.						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Eficiencia en remoción, para el sistema de tratamiento de aguas residuales, segundo muestreo correspondiente para el mes de septiembre de 2010

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 07/09/2010				
	P1	P2	P3	Eficiencia en remoción (%) P1 - P2	Eficiencia en remoción (%) P1 - P3
Demanda química de oxígeno (mg/L)	28 250,00	-----	13 550,00	-----	52,04
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	14 070,00	-----	8040,00	-----	42,86
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	500,00	450,00	90,00	10,00	82,00
Sólidos en suspensión (mg/L)	11 522,00	9252,00	2376,00	19,70	79,38
Grasas y aceites (mg/L)	10,60	-----	33,40	-----	-215,09*

Continúa tabla XX.

Nitrógeno (mg/L)	115,00	-----	18,00	-----	84,35
Fósforo (mg/L)	3,00	-----	2,00	-----	33,33
Color (unidades Pt-Co)	49 800,00	-----	2260,00	-----	95,46
<p>P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Entrada del efluente en la primera laguna. P3: Salida de agua residual, en la última laguna. (*) El valor negativo indica un aumento en el valor durante el proceso.</p>					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Valores promedios de los parámetros, cumplimiento con el artículo #20**

Fecha: 07/09/2010					
Parámetros fisicoquímicos	Promedio	Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	20 900,00	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	11 055,00	-----	-----	-----	-----

Continúa tabla XXI.

Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	346,67	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	7716,67	600	Se acepta	se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	22,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Nitrógeno (mg/L)	66,50	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Fósforo (mg/L)	2,50	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	26 030,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	7,56	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Presente	Ausente	-----	-----	No cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Valores de las variables que cumplen con el artículo #20

Fecha: 07/09/2010					
Parámetros fisicoquímicos	P3	Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/n o cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	13 550,00	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8040,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos sedimentables (cm3/L)	90,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	2376,00	600	Se acepta	Se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	33,40	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Nitrógeno (mg/L)	18,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple

Continúa tabla XXII.

Fósforo (mg/L)	2,00	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	2260,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	7,56	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Presente	Ausente	-----	-----	No cumple
P3: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Valores de la composición del agua residual, determinados para el mes de enero de 2011, como tercer muestreo**

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 26/01/2011		
	Puntos de muestreo		
	P1	P2	P3
Demanda química de oxígeno (mg/L)	25 200,00	26 750,00	3680,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8442,00	9045,00	1809,00
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	90,00	250,00	15,00
Sólidos en suspensión (mg/L)	8245,00	5462,50	1905,00
Materia flotante (visual)	Presente	Presente	Ausente
Grasas y aceites (mg/L)	115,00	60,00	56,00

Continúa tabla XXIII.

Nitrógeno (mg/L)	78,00	100,00	19,00
Fósforo (mg/L)	4,70	4,90	12,00
Color (unidades Pt-Co)	1410,00	2600,00	1861,00
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Punto de ingreso de efluente en la primera laguna. P3: Salida de agua residual, en la última laguna, como punto de descarga final hacia el cuerpo receptor.			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Valores puntuales de las variables temperatura y potencial de hidrógeno, correspondiente para el mes de enero de 2011**

Identificación de la muestra	Fecha	Hora de medición	Parámetros fisicoquímicos			
			Temperatura (oC)	Promedio	pH	Promedio
P1	25/01/2011	16:00 p.m	64,20	63,70	10,48	10,51
	26/01/2011	16:36 p.m	63,20		10,53	
P2	25/01/2011	16:30 p.m	75,40	60,50	5,89	5,92
	26/01/2011	16:53 p.m	45,60		5,95	

Continúa tabla XXIV.

P3	25/01/2011	17:00 p.m	25,90	24,70	7,24	7,31
	26/01/2011	17:30 p.m	23,50		7,37	
<p>P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Punto de entrada de agua residual, en la primera laguna. P3: Salida de agua residual en la última laguna, como punto de descarga final hacia el cuerpo receptor.</p>						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Valores obtenidos de la medición de caudal, enero 2011, como tercer muestreo**

	Punto de muestreo	
	Salida de agua residual, después de la última laguna (descarga final) punto 3.	
Fecha	Horas	Caudal(L/s)
25/01/2011	05:00:00 a.m.	2,44
	05:15:00 a.m.	2,61
	05:30:00 a.m.	2,36
	05:45:00 a.m.	2,92
	06:00:00 a.m.	3,72
	06:15:00 a.m.	3,87
	06:30:00 a.m.	3,63
	06:45:00 a.m.	3,51
	07:00:00 a.m.	3,17
	07:15:00 a.m.	2,88
	07:30:00 a.m.	2,67

Continúa tabla XXV.

25/01/2011	07:45:00 a.m.	2,44
	08:00:00 a.m.	1,94
	08:15:00 a.m.	2,10
	08:30:00 a.m.	2,06
	08:45:00 a.m.	1,89
	09:00:00 a.m.	1,79
	09:15:00 a.m.	1,92
	09:30:00 a.m.	1,85
	09:45:00 a.m.	1,68
	10:00:00 a.m.	1,77
	10:15:00 a.m.	1,94
	10:30:00 a.m.	1,79
	10:45:00 a.m.	1,93
	11:00:00 a.m.	1,80
	11:15:00 a.m.	1,77
	11:30:00 a.m.	1,83
	11:45:00 a.m.	1,83
	12:00:00 p.m.	1,80
	12:15:00 p.m.	1,69
	12:30:00 p.m.	1,60
	12:45:00 p.m.	1,69
	01:00:00 p.m.	1,63
	01:15:00 p.m.	1,82
	01:30:00 p.m.	1,76
	01:45:00 p.m.	1,73
	02:00:00 p.m.	1,82
	02:15:00 p.m.	1,66
	02:30:00 p.m.	1,76
	02:45:00 p.m.	1,75
	03:00:00 p.m.	1,93
	03:15:00 p.m.	1,84
	03:30:00 p.m.	1,79
	03:45:00 p.m.	1,76
04:00:00 p.m.	1,75	
04:15:00 p.m.	1,75	

Continúa tabla XXV.

26/01/2011	04:30:00 p.m.	1,77
	04:45:00 p.m.	1,83
	05:00:00 p.m.	1,95
	05:15:00 p.m.	2,00
	05:30:00 p.m.	2,05
	05:45:00 p.m.	2,08
	06:00:00 p.m.	2,01
	06:15:00 p.m.	2,04
	06:30:00 p.m.	2,15
	06:45:00 p.m.	2,35
	07:00:00 p.m.	2,37
	07:15:00 p.m.	2,49
	07:30:00 p.m.	2,35
	07:45:00 p.m.	2,41
	08:00:00 p.m.	2,36
	08:15:00 p.m.	2,38
	08:30:00 p.m.	2,37
	08:45:00 p.m.	2,21
	09:00:00 p.m.	2,25
	09:15:00 p.m.	2,42
	09:30:00 p.m.	2,15
	09:45:00 p.m.	2,32
	10:00:00 p.m.	2,20
	10:15:00 p.m.	2,23
	10:30:00 p.m.	2,35
	10:45:00 p.m.	2,30
	11:00:00 p.m.	2,44
	11:15:00 p.m.	2,32
	11:30:00 p.m.	2,24
	11:45:00 p.m.	2,19
	12:00:00 a.m.	2,19
	12:15:00 a.m.	2,25
12:30:00 a.m.	2,09	
12:45:00 a.m.	2,03	
01:00:00 a.m.	2,08	

Continúa tabla XXV.

26/01/2011	01:15:00 a.m.	1,93
	01:30:00 a.m.	1,92
	01:45:00 a.m.	1,89
	02:00:00 a.m.	2,08
	02:15:00 a.m.	2,11
	02:30:00 a.m.	2,14
	02:45:00 a.m.	2,23
	03:00:00 a.m.	2,05
	03:15:00 a.m.	2,26
	03:30:00 a.m.	2,18
	03:45:00 a.m.	1,95
	04:00:00 a.m.	2,04
	04:15:00 a.m.	2,08
	04:30:00 a.m.	1,94
	04:45:00 a.m.	1,97
	05:00:00 a.m.	1,75
Caudal diario promedio (L/s)		2,14
Caudal total diario (m ³ /día)		184,72
Caudal total diario (L/día)		184 717,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Valores de la carga de demanda bioquímica, correspondiente para el mes de enero de 2011, en el último punto de descarga del agua residual

				CARGAS (kg/día)	
Fecha: 26/01/2011	Caudal total diario (L/día)	Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)(mg/L)	Demanda química de oxígeno (DQO) (kg/día)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (kg/día)
P3	184 717,86	3680,00	1809,00	679,76	334,15
P3: Salida de efluente en la última laguna, como punto de descarga final del agua residual hacia el cuerpo receptor.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Valores estadístico para las variables en estudio, mes de enero de 2011**

Fecha: 26/01/2011						
Parámetros fisicoquímicos	P1	P2	P3	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Demanda química de oxígeno (mg/L)	25 200,00	26 750,00	3680,00	18 543,33	12 895,33	69,54
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8442,00	9045,00	1809,00	6432,00	4014,97	62,42
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	90,00	250,00	15,00	118,33	120,03	101,44
Sólidos en suspensión (mg/L)	8245,00	5462,50	1905,00	5204,17	3177,88	61,06
Grasas y aceites (mg/L)	115,00	60,00	56,00	77,00	32,97	42,82
Nitrógeno (mg/L)	78,00	100,00	19,00	65,67	41,88	63,78

Continúa tabla XXVII.

Fósforo (mg/L)	4,70	4,90	12,00	7,20	4,16	57,75
Color (Pt-Co)	1410,00	2600,00	1861,00	1957,00	600,78	30,70
pH (adimensional)	10,51	5,92	7,31	7,91	2,35	29,73
Temperatura (oC)	63,70	60,50	24,7	49,63	21,65	43,62
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Entrada de agua residual en la primera laguna. P3: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor-						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Eficiencia en remoción para el sistema de tratamiento de aguas residuales, enero 2011**

Parámetros fisicoquímicos	Fecha: 26/01/2011				
	P1	P2	P3	Eficiencia en remoción (%) P1 - P2	Eficiencia en remoción (%) P2 - P3
Demanda química de oxígeno (mg/L)	25 200,00	26 750,00	3680,00	-6,15*	86,24
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	8442,00	9045,00	1809,00	-7,14*	80,00
Sólidos sedimentables (cm3/L)	90,00	250,00	15,00	-177,78*	94,00
Sólidos en suspensión (mg/L)	8245,00	5462,50	1905,00	33,75	65,13

Continúa tabla XXVIII.

Grasas y aceites (mg/L)	115,00	60,00	56,00	47,83	6,67
Nitrógeno (mg/L)	78,00	100,00	19,00	-28,21*	81,00
Fósforo (mg/L)	4,70	4,90	12,00	-4,26*	-144,90*
Color (unidades Pt-Co)	1410,00	2600,00	1861,00	-84,40*	28,42
P1: Salida de agua residual de la planta de proceso, ingreso al sistema de pretratamiento. P2: Entrada de efluente en la primera laguna. P3: Salida de agua residual, en la última laguna. (*) El valor negativo indica un aumento en el valor durante el proceso.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Valores promedios para los parámetros en estudio enero 2011, cumplimiento con el artículo #20**

Fecha: 26/01/2011					
Parámetros fisicoquímicos	Promedio	Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	18 543,33	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	6432,00	-----	-----	-----	-----

Continúa tabla XXIX.

Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	118,33	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	5204,17	600	Se acepta	se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	77,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Nitrógeno (mg/L)	65,67	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Fósforo (mg/L)	7,20	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	1957,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	7,91	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Ausente	Ausente	-----	-----	Si cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Parámetros que cumplen con el artículo #20, enero 2011**

Fecha: 26/01/2011					
Parámetros fisicoquímicos	P3	Valor permitido. Artículo #20	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Etapa 1
Demanda química de oxígeno (mg/L)	3680,00	-----	-----	-----	-----
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	1809,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos sedimentables (cm ³ /L)	15,00	-----	-----	-----	-----
Sólidos en suspensión (mg/L)	1905,00	600	Se acepta	Se rechaza	No cumple
Grasas y aceites (mg/L)	56,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Nitrógeno (mg/L)	19,00	100	Se rechaza	Se acepta	Si cumple

Continúa tabla XXX.

Fósforo (mg/L)	12,00	75	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Color (Pt-Co)	1861,00	1300	Se acepta	Se rechaza	No cumple
pH (adimensional)	7,31	6 a 9	Se rechaza	Se acepta	Si cumple
Materia flotante	Ausente	Ausente	-----	-----	Si cumple
P3: Salida de efluente en la última laguna, hacia el cuerpo receptor.					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Carga de demanda bioquímica de oxígeno, generado por la industria en los meses de muestreo**

Meses de muestreo	Salida de efluente hacia el cuerpo receptor, como punto de descarga final		Carga de demanda bioquímica de oxígeno (kg/día)	Cumple/no cumple. Para el valor permitido. Artículo #17
	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Caudal total diario (L/día)		3000<EG<6000
03-mar-10	2010,00	243 167,01	488,77	Cumple
07-sep-10	8040,00	217 519,12	1748,85	Cumple
26-ene-11	1809,00	184 717,86	334,15	Cumple

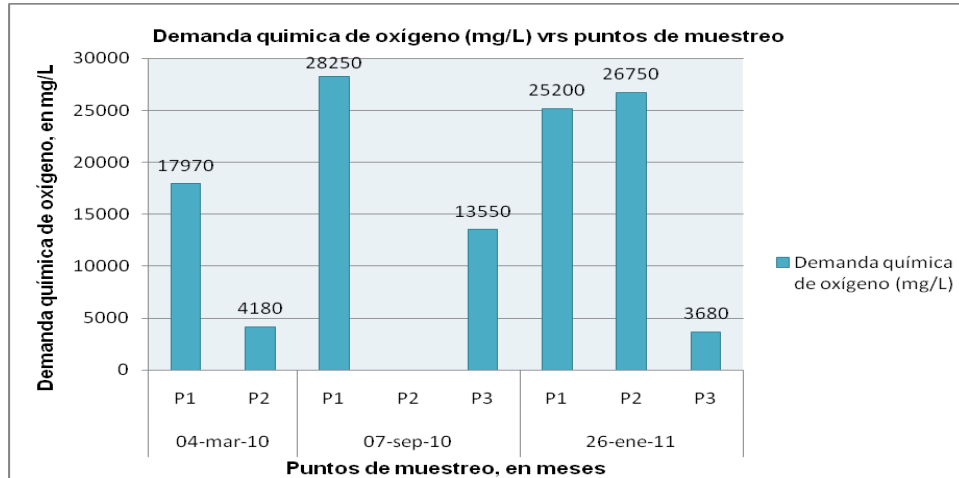
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Índice de biodegradabilidad, para el sistema tratamiento de aguas residuales, a través de las lagunas de estabilización**

	Salida de efluente hacia el cuerpo receptor, como punto de descarga final		
Meses de muestreo	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	Demanda química de oxígeno (mg/L)	Índice de biodegradabilidad (DBO/DQO)
03-mar-10	2010,00	4180,00	0,48
07-sep-10	8040,00	13 550,00	0,59
26-ene-11	1809,00	3680,00	0,49

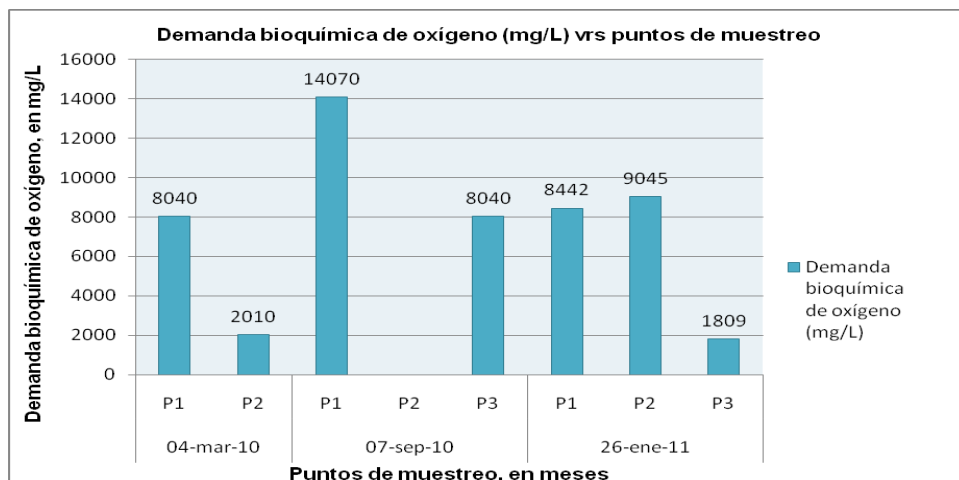
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Demanda química de oxígeno en mg/L, para los diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes**



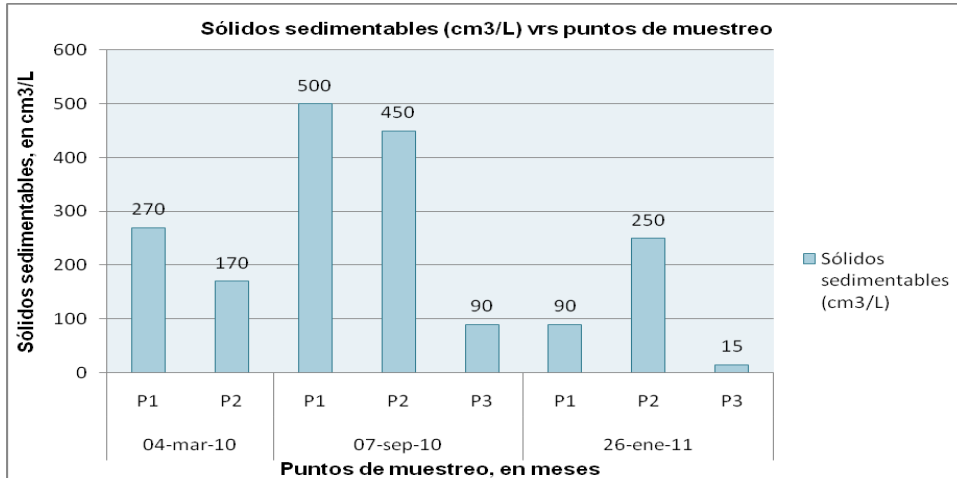
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Demanda bioquímica de oxígeno en mg/L para los diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes**



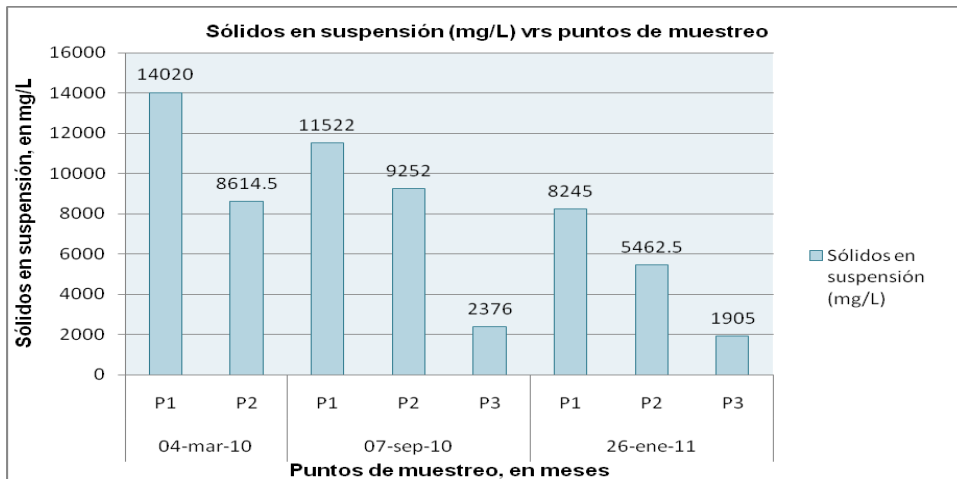
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Sólidos sedimentables en cm³/L, para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes**



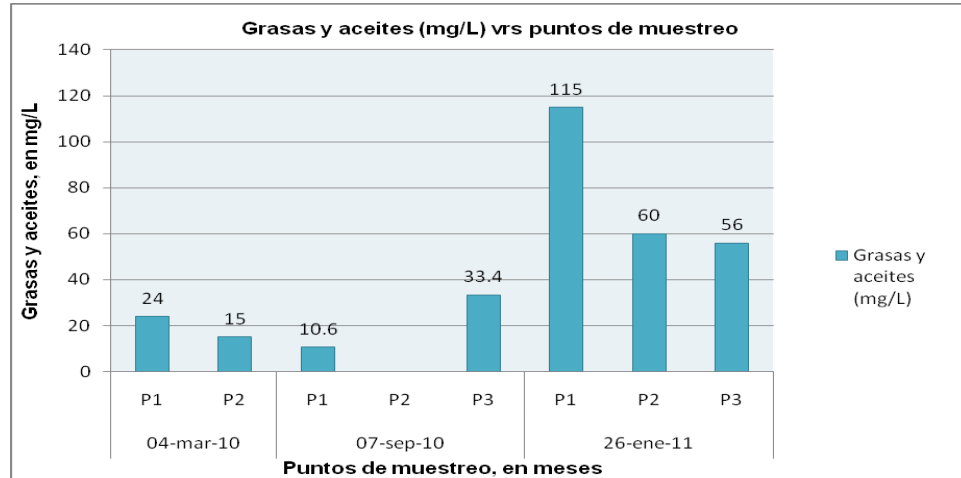
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Sólidos en suspensión en mg/L, para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes**



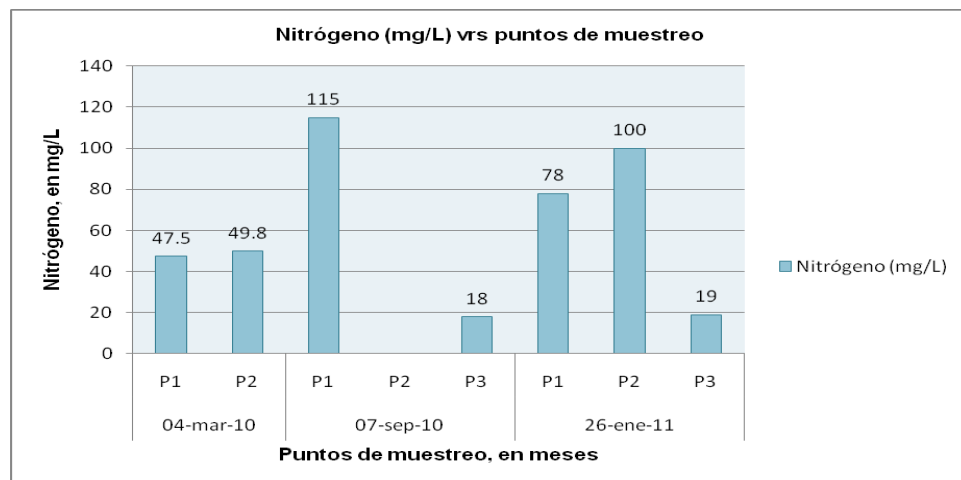
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Grasas y aceites en mg/L para cada punto de muestreo, en diferentes meses**



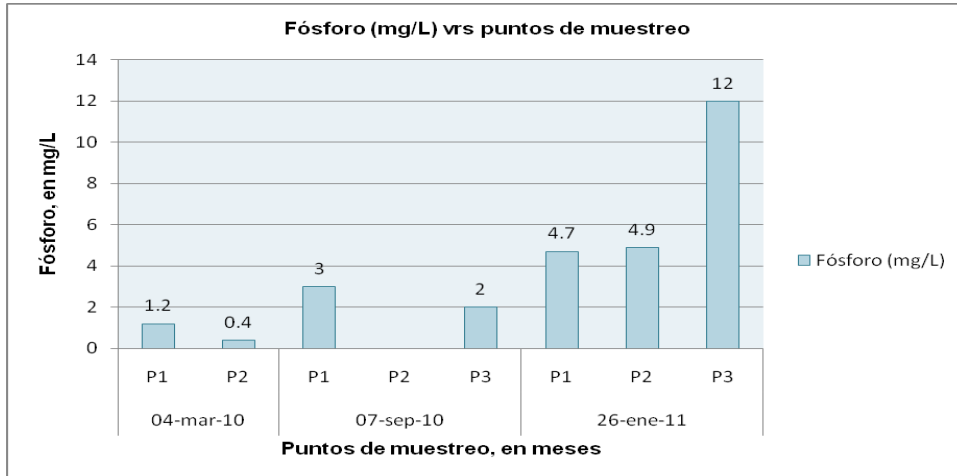
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Nitrógeno en mg/L para cada punto de muestreo, en diferentes meses**



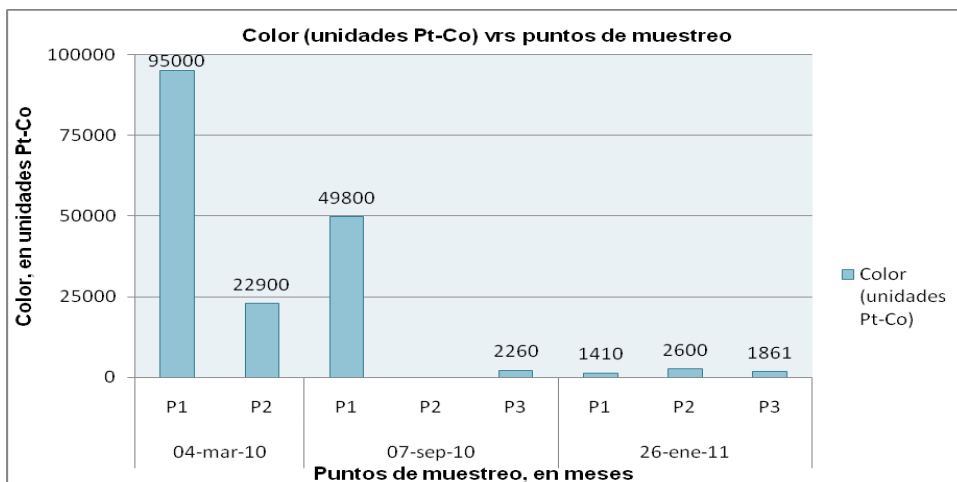
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Fósforo en mg/L para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes**



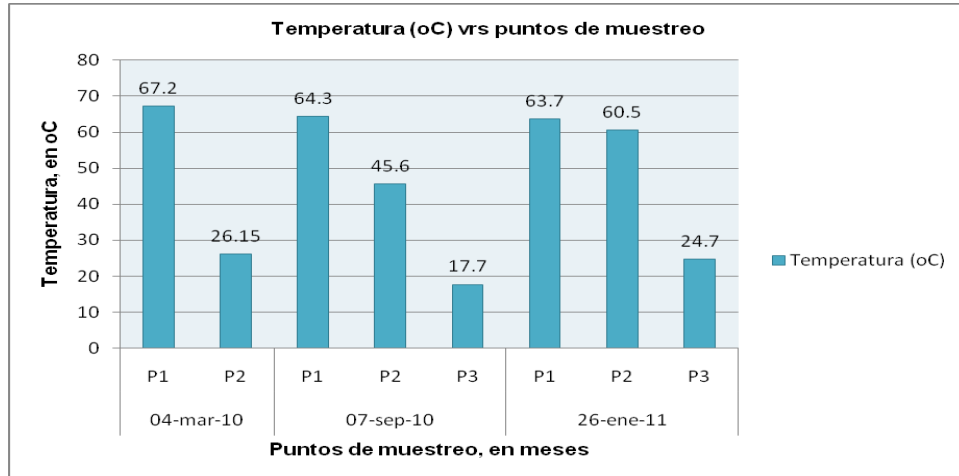
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Color en unidades Platino-Cobalto, para cada punto de muestreo, en diferentes meses**



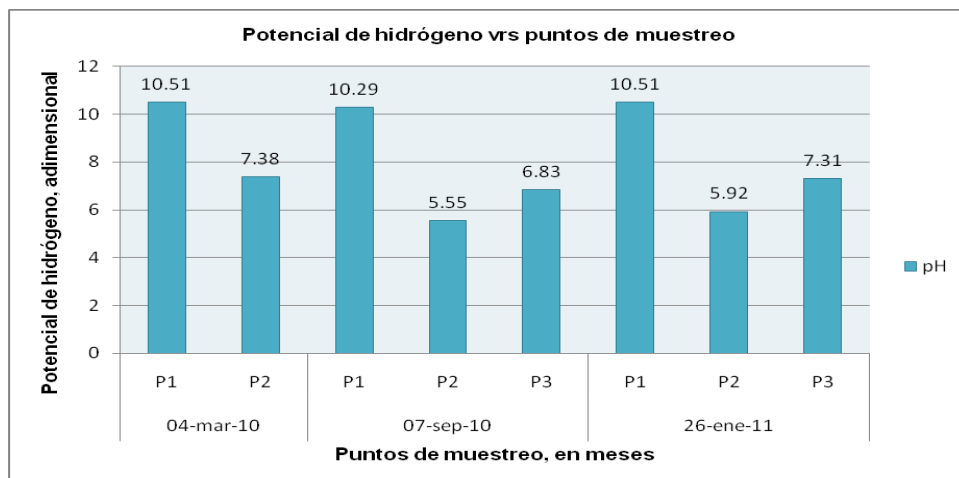
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Temperatura en 0C, para diferentes puntos de muestreo, correspondiente para cada mes**



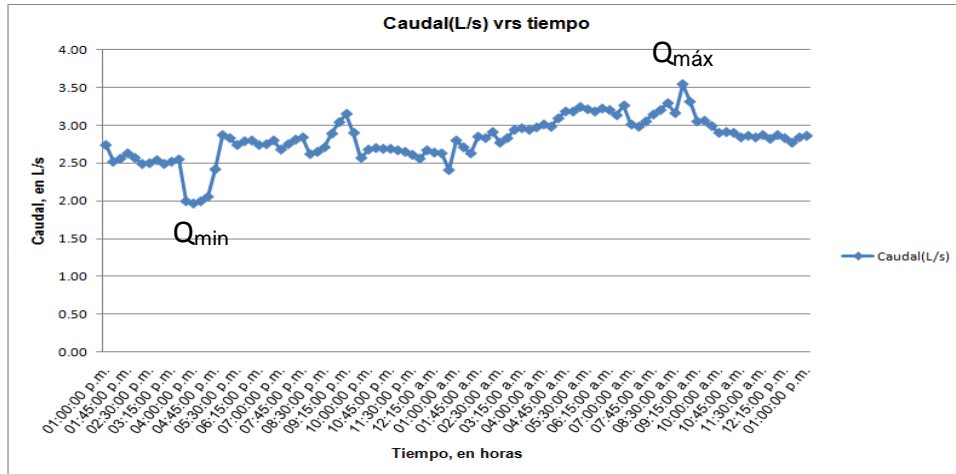
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Potencial de hidrógeno adimensional, para cada punto de muestreo, en diferentes meses**



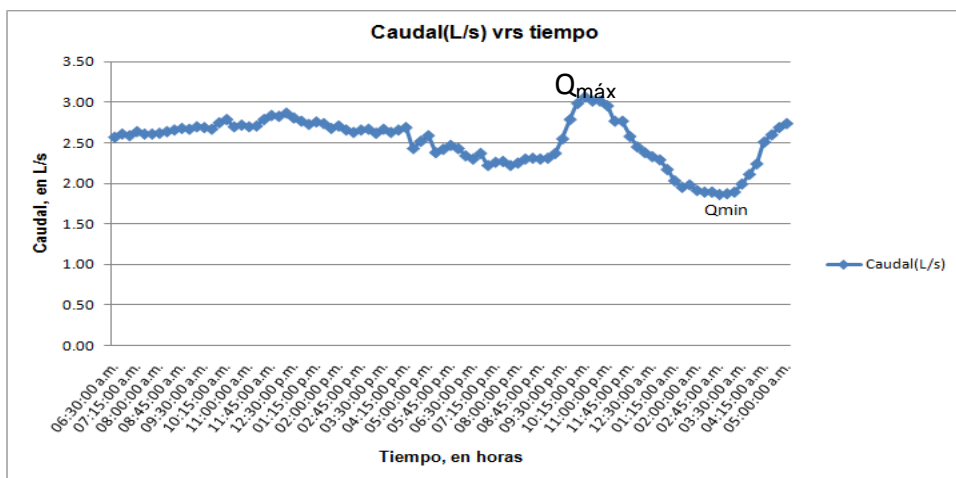
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 02 y 03 de marzo de 2010**



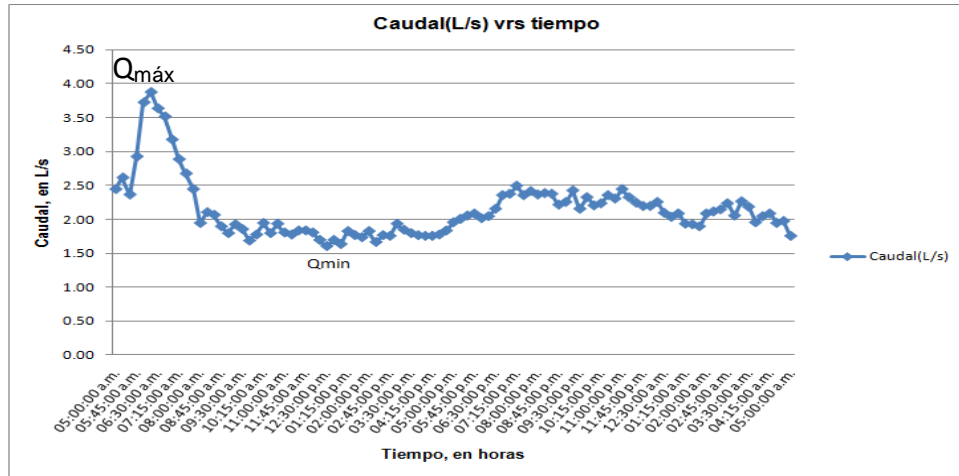
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 06 y 07 de septiembre de 2010**



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Medición de caudal del agua residual en la salida de la última laguna, para las fechas 25 y 26 de enero de 2011**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El mayor aporte de caudal de las aguas residuales generadas, está constituido por el agua eliminada luego del proceso de nixtamalización (cocción del maíz). Esta descarga está compuesta por agua caliente con alto contenido de hidróxido de sodio y materia orgánica (residuos de maíz). Otros aportes a los efluentes están constituidos por el agua utilizada, durante los procesos de lavado del equipo.

Durante las diferentes épocas del año, se monitoreó la planta de tratamiento de aguas residuales, a través del análisis de la calidad del efluente, por el cual se llevaron a cabo varios muestreos durante los meses de marzo, septiembre y enero, con el objetivo de determinar los valores de las variables y la eficiencia del sistema de lagunas, como tratamiento de aguas residuales. Los resultados que se obtuvieron durante varios meses de monitoreo, con respecto a las variables que se estudiaron, por el cual parámetros como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión, sólidos sedimentables, color, temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, nitrógeno, fósforo, caudal y materia flotante.

El estudio que lleva el nombre de evaluación y propuesta de mejoras para el sistema de tratamientos de aguas residuales de una industria manufacturera de harinas de maíz. Fue realizado con el objeto de establecer las condiciones del sistema de tratamiento que actualmente funciona en el interior de las instalaciones de la industria manufacturera de harinas de origen vegetal, y que al mismo tiempo para determinar la calidad fisicoquímica del efluente que se descarga hacia el cuerpo receptor.

Demanda química de oxígeno

Para el siguiente parámetro en estudio, se puede observar que durante las épocas secas y lluviosas, los valores en los puntos de muestreos varían con respecto a la cantidad de materia orgánica que aumenta, como se indica en la figura 53, la tendencia de los valores, para cada punto de muestreo, correspondiente para cada mes, fueron puntos escogidos para determinar la calidad del efluente que se descarga actualmente en la industria procesadora de harinas de maíz.

Por lo tanto en el primer punto de muestreo, para cada mes monitoreado, el valor de la demanda química de oxígeno (DQO), siempre presenta un valor muy alto, debido a que en ese punto el agua residual que proviene del proceso de cocción del maíz contiene una gran cantidad de sólidos gruesos, que al mismo tiempo aumenta la carga orgánica, la cual sólidos que no han sido removidos por ningún medio, ya sea en forma mecánica o manual. Para analizar los últimos puntos (punto 2 para el mes de marzo, y punto 3 para los meses de septiembre y enero) que son los puntos de descargas finales del efluente, como se muestra en la figura 53, se obtienen valores menores, comparados con los puntos de inicio o intermedios.

La cual la depuración del agua residual por medio de las cinco lagunas de estabilización, en conjunto trabajan de una manera ineficiente, porque los valores obtenidos, en los últimos puntos aún están muy elevados, la cual no son muy aceptables, a pesar de la disminución que sufre dicha variable en su valor en cada punto, ya que las características propias de las lagunas de estabilización, es remover la carga orgánica, para descargar un efluente de mayor calidad.

Asimismo la eficiencia en remoción para el mes de marzo fue de 76,74%, para el mes de septiembre de 52,04% y para el último mes que corresponde para enero fue de 86,24%, por lo tanto se obtuvieron valores de remoción aceptables, para cada mes, pero aún no es lo suficiente, para reducir el valor elevado de la DQO en los puntos de descargas finales.

Actualmente en Guatemala se cuenta con el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006, que presenta los valores de cada parámetro que se debe de cumplir para cada fecha máxima de cumplimiento (ver tabla en anexos), por el cual no existe un valor indicado para la demanda química de oxígeno establecido por el acuerdo, de tal manera no se debe de descartar este parámetro como una medida de contaminación que representa el agua residual.

Demanda bioquímica de oxígeno

La variable de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), para los puntos de muestreos, correspondiente para cada mes de análisis, se muestra en la figura 54, en donde puede observarse que la tendencia de cada valor, para cada punto en diferentes meses fueron variando, como se ve en los primeros puntos de muestreos (p1), para cada mes, el valor siempre prevalece con una magnitud alta.

Sencillamente esto sucede, porque el agua residual contiene cantidades considerables de sólidos gruesos, que no han sido removidos, ya que en ese punto el agua residual entra en un proceso de pretratamiento en donde se separan los sólidos del agua, para luego tratar el efluente por medio de las lagunas.

Para los últimos puntos como el punto 2 para el mes de marzo, y el punto 3 de los meses de septiembre y enero, son puntos de muestreos de descargas finales del agua residual. La cual el efluente se descarga ya tratada a través del sistema de las lagunas de estabilización, cabe mencionar que los valores que se obtienen en esos puntos, son relativamente bajos comparados con los valores que se tienen en los puntos 1 y 2, asimismo se observa en la figura 54 el mal desempeño que tienen las lagunas en cuanto a la remoción de materia orgánica relacionada con la demanda bioquímica de oxígeno, ya que los valores siguen siendo muy elevados en los puntos finales.

De esta manera se determina una ineficiencia en la depuración del agua residual, a pesar de los valores que se obtuvieron en eficiencia en remoción para dicho parámetro, cuyos valores para cada mes fueron: marzo el 75,00%, septiembre el 42,86%, y enero el 80,00%. Con respecto a las normas establecidas no existe un valor estipulado, para la variable de demanda bioquímica de oxígeno, que se debe de cumplir para mejorar el proceso de autodepuración de las lagunas, y al mismo tiempo disminuir la contaminación hacia los cuerpos receptores y al ambiente en particular.

Por lo tanto la carga de demanda bioquímica de oxígeno en kg/día, para los siguientes meses fueron de: 488,77 kg/día para marzo, 1748,75 kg/día para septiembre y para enero 334,15 kg/día, desde luego los resultados obtenidos están por debajo de los valores establecidos por el reglamento, que se encuentran en el artículo #17, por lo tanto la concentración de la DBO_5 se encuentra elevada en los puntos de descargas, sin importar que la carga cumpla con el reglamento guatemalteco.

Sólidos sedimentables

Como se muestra en la figura 55, los valores de los sólidos sedimentables, en los puntos 1, para cada mes de muestreo presentan medidas elevadas, a excepción del mes de enero, ya que la cantidad de materia orgánica (residuos de maíz) es tan alta, que la tendencia es significativamente notorio, esto implica la contaminación que se genera al momento de descargar el efluente al exterior. Se puede observar que los valores en cada punto disminuyen con relación al tratamiento que se le da al agua residual, como puede verse en cada mes, ya sea en épocas de lluvia y seca, los valores tienden a dispersarse entre sí, esto indica que en época lluviosa, el valor de los sólidos sedimentables aumenta considerablemente, por el cual es afectado el desempeño de las lagunas.

Por otra parte si se analiza los puntos de descargas finales (p2 y p3), es decir puntos donde el efluente, es conducido hacia el cuerpo receptor, los valores que muestra en la figura 55, disminuyen después del pretratamiento y la autodepuración que se le da al agua residual por medio de un removedor de sólidos y de lagunas.

Desde luego la eficiencia en remoción para cada mes monitoreado, realizadas por el sistema de lagunaje, fueron los siguientes: 37,04% en marzo, 82,00% en septiembre y 94,00% para el mes de enero, por lo tanto se analiza que las lagunas en cuanto a remoción de sólidos sedimentables, trabajan eficientemente en cualquier época del año. Para este parámetro, no se cuenta con un valor máximo permitido por parte del reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006, por lo tanto no se puede comparar con el valor teórico y especificar si cumple o no con la normativa establecida.

Sólidos en suspensión

Con respecto a la siguiente variable, los valores que se muestran en la figura 56, puede notarse que el comportamiento de cada punto de muestreo sufre una variación, además se observa que en cada mes los índices de disminución es notorio, por lo tanto en los primeros puntos de muestreo (p1) para cada mes, siempre la magnitud es tan alta. Ya que el agua cruda sin ser tratada físicamente o químicamente entra a una etapa de pretratamiento, antes de ingresar al punto 2 que es la entrada del efluente a la primera laguna de estabilización.

Asimismo la eficiencia en remoción para el mes de marzo fue de 38,56%, que prácticamente se obtiene un resultado muy bajo, de la misma manera el valor para el mes de septiembre fue de 79,38% y para el mes de enero fue de 65,13%, con respecto a los valores mencionados se establece que las lagunas remueven aceptablemente los sólidos en suspensión en época seca y lluviosa.

Las lagunas de estabilización trabajan mejor en la época de lluvia, relacionados a los valores arrojados a través del análisis de la composición del agua residual, que se determina la cantidad de los sólidos en suspensión. Por el cual el Acuerdo Gubernativo 236-2006, establece un valor máximo permitido para este parámetro, por lo tanto los valores determinados en los puntos de descargas finales del efluente, no cumplen con lo establecido por la norma guatemalteca, a pesar que las eficiencias en remoción fueron valores altos a excepción del mes de marzo.

Desde luego se puede ver en la figura 56 en los puntos 2 y 3, correspondiente para cada mes, los valores están arriba de lo indicado en el artículo #20 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 (ver tabla en anexos) y por lo tanto este parámetro no cumple con el valor establecido por el acuerdo ya mencionado anteriormente.

Grasas y aceites

En el análisis de campo y laboratorio, que se pudo realizar en la planta de producción de harinas de maíz, y empleando instrumentos indicados para la toma de muestras, se determinó el valor del parámetro, desde luego se obtuvieron valores relativamente bajos, respectivamente para cada punto de toma de muestra. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 57, donde se verifica que los índices de los valores para cada punto de muestreo, especialmente para el punto 2 para el mes de marzo y el puntos 3 para los meses de septiembre y enero, son los valores que más interesan debido a que son los puntos finales de descargas del efluente hacia el cuerpo receptor.

De esta manera es donde se determina la magnitud de la contaminación, que se produce a través del agua residual; que proviene del proceso de cocción del maíz, desde luego se observa en la figura que en los últimos puntos (p2 y p3) para cada mes muestran valores aceptables comparados con los valores establecidos por la ley nacional. Con respecto a la eficiencia en remoción de esta variable se obtuvieron el 37,50% para el mes de marzo, - 215,09% para el mes de septiembre, por el cual el valor negativo indica que en vez de disminuir el valor desde el punto 1 hacia el punto 3, pasa todo lo contrario, aumenta en su magnitud.

Y por lo tanto para el mes de enero la eficiencia en remoción fue de 6,67%, ya que las lagunas de estabilización para cada mes monitoreado, resultan ser eficiente en cuanto a la remoción de grasas y aceites en cualquier época del año, a pesar de los valores obtenidos de las eficiencias en remoción, que fueron demasiadas bajas.

Cabe mencionar que los resultados que se obtuvieron en cuanto a remoción de grasas y aceites por medio del sistema de lagunas, que fueron bajas para cada mes monitoreado, esto no implica que los valores obtenidos en los últimos puntos de descargas finales del efluente, no cumplan con lo establecido por la norma, al contrario dicho parámetro cumple con el valor máximo permitido que se encuentra en el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Nitrógeno

Para los diferentes meses de muestreos y en diferentes puntos del interior de la planta, se determinó los valores del parámetro de nitrógeno, efectuando el análisis de laboratorio y de campo, para observar la tendencia de los valores obtenidos durante las épocas secas y lluviosas. Se puede ver en la figura 58 el comportamiento de dicho parámetro, en donde se puede interpretar como varían los valores con respecto a la cantidad de la materia orgánica que tiene en cada punto monitoreado.

Se puede observar que los puntos 1 en cada mes, siempre existe una alta concentración de materia orgánica y debido a esto el valor del nitrógeno aumenta, y con respecto a los puntos finales de descarga del efluente tratado, que son los puntos 3, se determina que la concentración de la materia orgánica disminuye, debido al proceso de autodepuración, que realizan las lagunas de estabilización. Por otra parte la eficiencia en remoción obtenida para el mes de marzo fue de -4,84%, cuyo valor negativo indica un aumento en su magnitud, durante el proceso de depuración a través de las lagunas; en vez de disminuir desde el punto de inicio hasta el punto final aumenta, el 84,35% para el mes de septiembre y el 81,00% para el mes de enero.

Como resultados en eficiencias en remoción, las lagunas remueven el nitrógeno de una manera eficiente, con excepción al resultado, que se obtiene en marzo. El nivel de nitrógeno cumple con las especificaciones establecidas por el reglamento guatemalteco, como se muestra en la figura 58 en los últimos puntos (p2 y p3 para cada mes) que están por debajo de los valores máximos permitidos del acuerdo gubernativo.

Fósforo

Tanto el fósforo como el nitrógeno son nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, en niveles excesivos estos nutrientes producen un crecimiento elevado de algas en los lagos, produciendo el fenómeno de eutrofización. La cual los valores que se obtuvieron a partir de los muestreos realizados en cada punto del sistema de tratamiento de aguas residuales, se muestran en la figura 59, en donde se observa la tendencia de como disminuye o aumenta en cada punto correspondiente para cada mes de análisis.

De esta manera la descomposición de la materia orgánica, que se lleva a cabo durante la depuración del agua residual por medio de las lagunas, genera un valor alto o bajo con relación a la concentración a los residuos sólidos.

En este caso para los meses de marzo y septiembre las lagunas remueven aceptablemente la cantidad de fósforo, pero para el mes enero se ve un comportamiento inadecuado en cuanto al mal funcionamiento de las lagunas, debido a que los valores aumentan en vez de disminuir, como se ve en la figura 59.

Los valores en la eficiencia en remoción correspondiente para el mes de marzo fue el 66,67%, el 33,33% para septiembre y el -144,90% para el mes de enero, como se observa en la figura 59, los valores tienden a subir, aunque se obtuvo una eficiencia en remoción inaceptable, como también se evaluó que el funcionamiento fue malo en cuanto a remoción de fósforo. A pesar de la mala eficiencia en remoción de fósforo de las lagunas de estabilización, los valores en los puntos finales de descarga del agua residual, cumplen con lo establecido por el reglamento.

Color

El agua evaluada durante los meses de marzo, septiembre y enero, presenta niveles altos en cuanto a los valores determinados de dicho parámetro, a partir de cada punto de muestreo, como se indica en la figura 60. Por el cual en los puntos 1, se determinaron valores altos para los meses de marzo y septiembre, en cuanto al mes de enero, el valor fue bajo, comparado con los otros dos meses.

Como se aprecia en la figura 60 los resultados de dicho parámetro descienden cuando se le da al agua residual una buena depuración o una dilución natural, es decir en época de lluvia baja significativamente el valor, en cambio para el mes de enero en el punto 1 el valor fue bajo y después asciende como se ve en la figura 60, en el punto 2, y luego disminuye en el punto 3, esto ocurre en época seca.

En el caso del valor de la eficiencia en remoción que realizan las lagunas, se determinó con un valor de 75,89% en el mes de marzo, 95,46% en septiembre y 28,42% para el mes de enero. El color del agua se debe principalmente a la materia orgánica o minerales en suspensión, asimismo para los meses de marzo y septiembre las lagunas operan aceptablemente, en cuanto a la remoción de esta variable en estudio, a excepción del mes de enero.

Desde luego las lagunas operaron eficientemente en los meses anteriormente mencionados, con respecto a los valores de eficiencia en remoción, por lo tanto las comparaciones de los valores de los últimos puntos de muestreo, es decir en la descarga final del efluente (p2 para el mes de marzo y p3 para el mes de septiembre y enero), dicho parámetro no cumple con el valor máximo permitido acordado por el reglamento nacional. Debido a que se obtuvieron magnitudes muy altas en los puntos finales de muestreos, correspondientes para cada mes, la cual sobrepasa el valor establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Temperatura

Los valores monitoreados de temperatura en grados Celsius, para cada punto de muestreo, en diferentes meses, en donde se logró establecer como el agua residual, se enfría durante todo el proceso de depuración, por medio de las lagunas de estabilización, en la figura 61 se muestra, los diferentes valores para cada mes y para cada punto medido, asimismo en épocas de lluvia y seca la temperatura varía significativamente. De esta manera la variable temperatura para los puntos de inicio (p1) son relativamente altos, esto se debe que el efluente que sale del proceso es demasiado caliente, y después de hacer su recorrido hacia las lagunas, disminuye naturalmente su temperatura.

Desde luego el agua residual tratado por las lagunas, genera un enfriamiento a causa del viento o evaporación que sufre el agua residual. En la descarga final como puntos 3, el efluente posee una temperatura ambiente, y por lo tanto cumple desde el punto de vista de calor sensible, la cual no existe un valor establecido por el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006 en la descarga final, para este parámetro, solo existe un valor de temperatura para el cuerpo receptor en donde se descarga el efluente ya tratado.

Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno es un parámetro que nos indica la acidez o la alcalinidad de una muestra de agua residual, como se puede observar en la figura 62, los resultados obtenidos en cada punto de muestro, representan valores de acidez o alcalinidad del agua residual, se observa que la tendencia del potencial de hidrógeno, disminuye con forme se depura el agua residual a través de las lagunas de estabilización.

Para el mes de marzo, septiembre y enero, en los puntos de inicio el agua residual es alcalino, debido que existe una solución sobresaturada de cal, y por el cual presentan valores arriba de 7, como lo que representa el agua natural purificada con un potencial de hidrógeno neutro. Para los puntos intermedios (p2) para los meses de septiembre y enero, los valores arrojados de la medición de pH son altamente ácidos, es decir se tiene una solución de agua residual, como una solución ácida en los puntos 2, medidos para los meses mencionados, por lo tanto existe una variabilidad en diferentes épocas del año.

En los puntos de descargas finales (p2 y p3) para cada mes, se puede observar en la figura 62 que el efluente posee un potencial de hidrógeno, aproximadamente neutro, es decir cercano al valor de 7 con un pH neutro, por lo tanto el funcionamiento de las lagunas remueven aceptablemente este parámetro, así como los valores obtenidos en los puntos finales de descargas, cumplen con el reglamento.

Caudal

El caudal observado durante los meses de marzo, septiembre y enero, en el punto final de descarga del agua residual, es variable de acuerdo a las figuras 63, 64 y 65 que describe su comportamiento a cada hora, el caudal fue medido de forma continua durante 24 horas, y se determinaron los caudales máximos y mínimos, que genera el proceso de cocción de maíz. Desde luego se obtuvo para el mes de marzo un caudal promedio de 2,81 L/s, para el mes de septiembre un valor de 2,52 L/s y para el mes de enero 2,14 L/s.

Con respecto para el mes de marzo, el efluente de la planta aumenta en las horas de la mañana (de 08:45 a.m a 09:00 a.m) alcanzando sus máximos valores y sus mínimos valores en las horas de la tarde (04:00 p.m a 04:15 p.m); para el mes de septiembre el efluente alcanza su valor máximo en las horas de la noche (de 10:15 p.m a 10:30 p.m) y su valor mínimo en las horas de la madrugada (02:45 a.m a 03:00 a.m).

Por lo tanto en el mes de enero el agua residual su valor máximo fue en las horas de la mañana (06:00 a.m a 06:15 a.m) y su valor mínimo lo alcanza en las horas de mediodía (12:30 p.m a 12:45 p.m), por el cual las lagunas de estabilización, son sistemas de alta capacidad de amortiguamiento en cuanto a contener cierta cantidad de masa de agua en ciertas horas de proceso. Para fines de cumplimiento el parámetro de caudal no se describe en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Materia flotante

En las tablas IV, XII y XX, se muestran los diferentes puntos correspondientes para cada mes de muestreo, la presencia de materia flotante como sólidos gruesos, natas, y material plástico, que a su vez genera un aumento en la carga orgánica y desde luego el agua residual, que se descarga es altamente contaminante. Para el mes de marzo todos los puntos de muestreo presentaron materia flotante, de tal manera para el mes de septiembre se tiene el mismo problema con respecto a la presencia de material flotante, en todos los puntos muestreados.

Aunque en el mes de enero, se logra tener ausencia de materia flotante, en el último punto de descarga, lo cual este parámetro cumple con el valor permitido, que establece el reglamento del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

CONCLUSIONES

1. El caudal total acumulado diario, para el mes de enero de 2011 es relativamente elevado. Sin embargo la carga de demanda bioquímica de oxígeno calculada cumple (ver tabla XXXI), desde ya con el reglamento establecido, valor máximo que se encuentra en el artículo No.17.
2. Los valores del parámetro de sólidos en suspensión, se encuentran elevados, por lo tanto no cumple con el reglamento establecido Acuerdo Gubernativo 236-2006; artículo No.20.
3. El sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización, de acuerdo al mes de enero monitoreado, presenta valores altos en cuanto al parámetro de color, mostrado en la figura 60.
4. El agua residual evaluada presenta niveles elevados en los parámetros relacionados con carga orgánica. Específicamente se observan resultados elevados de sólidos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO). Para los últimos puntos de muestreos correspondientes, para los meses de marzo, septiembre y enero 2011.
5. Las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales, remueven mucho mejor los parámetros de grasas y aceites, materia flotante, nitrógeno, fósforo y potencial de hidrógeno, ya que estas variables cumplen con el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo #20.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el cambio del tamiz que se encuentra en malas condiciones, para mejorar la separación de los sólidos gruesos del agua residual, que a su vez permita disminuir la carga orgánica, en las lagunas de estabilización.
2. Monitorear todos los parámetros en estudio, en la entrada de la primera laguna de estabilización, para verificar la variación que sufre la carga orgánica, a través de la remoción progresiva de sólidos, que se realiza al inicio por medio de un tamiz.
3. Instalar rejillas y trampas de sólidos, en el punto medio del canal trapezoidal y así disminuir la cantidad de sólidos gruesos y materia flotante, que entran en el sistema de lagunas, con el objeto de mejorar la eficiencia de las lagunas de estabilización.
4. Mejorar la operación y el mantenimiento de las lagunas, por medio de una limpieza progresiva, asignando un técnico como encargado de velar por la disminución de la contaminación ambiental, a través de la descarga de un efluente de mejor calidad fisicoquímica.
5. Aprovechar todo el volumen de cada laguna de estabilización, distribuyendo el flujo del efluente en varias entradas en cada una de ellas, para mejorar el tiempo de retención del agua residual, que permita remover mejor la carga orgánica, y a su vez reducir los valores de los parámetros que no cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

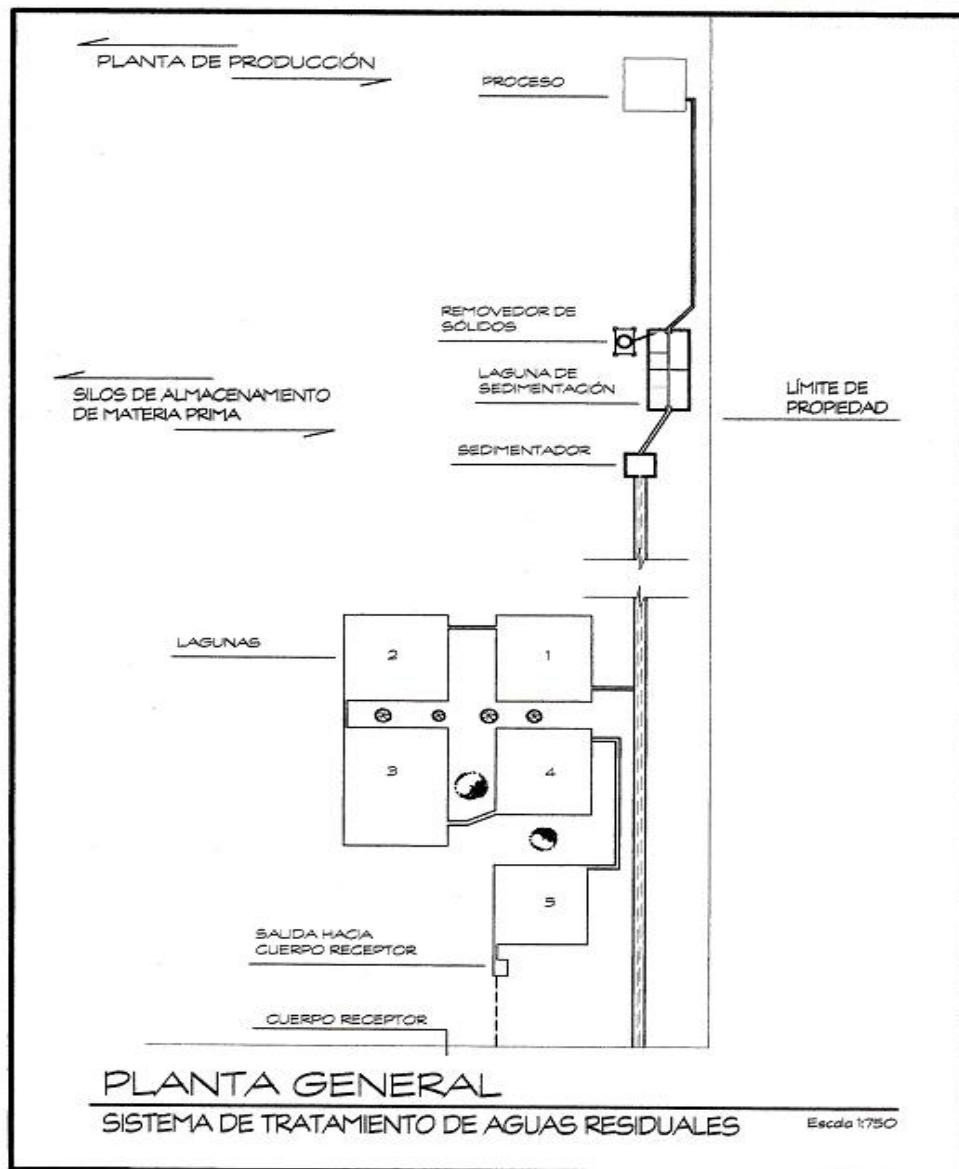
BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON, David R. *Estadística para administración y economía*. 7ª ed. México: International Thomson, 1999. 123 p. ISBN: 0538875933.
2. KIELY, Gerard. *Ingeniería ambiental*. Veza, José Miguel (trad.) Madrid: McGraw-Hill, 1999. 567 p.
3. MENDOZA, Sergio Rolim. *Sistemas de lagunas de estabilización*. 2ª ed. Colombia: McGraw-Hill, 2000. 153 p.
4. MORATÓ, Jordi. *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. 2ª ed. Madrid: Alfa Tecspar, 2002. 110 p. ISBN: 9789584453075.
5. STEWART, M. Oakley. *Lagunas de estabilización para tratamiento de aguas negras*. California: Proyecto de Desarrollo Municipal, Fondo Hondureño de Inversión Social, Unidad Generación de Empleo, Cooperación USAID, 1997. 200 p.
6. _____. *Lagunas de estabilización en honduras*. 2ª ed. California: Proyecto de Desarrollo Municipal Honduras, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Fondo de Inversión Social, 2005. 230 p.

7. YÁNEZ COSSÍO, Fabián. *Lagunas de estabilización; (teoría, diseño, evaluación y mantenimiento)*. 2^a ed. Ecuador: Monsalve, 1993. 200 p.

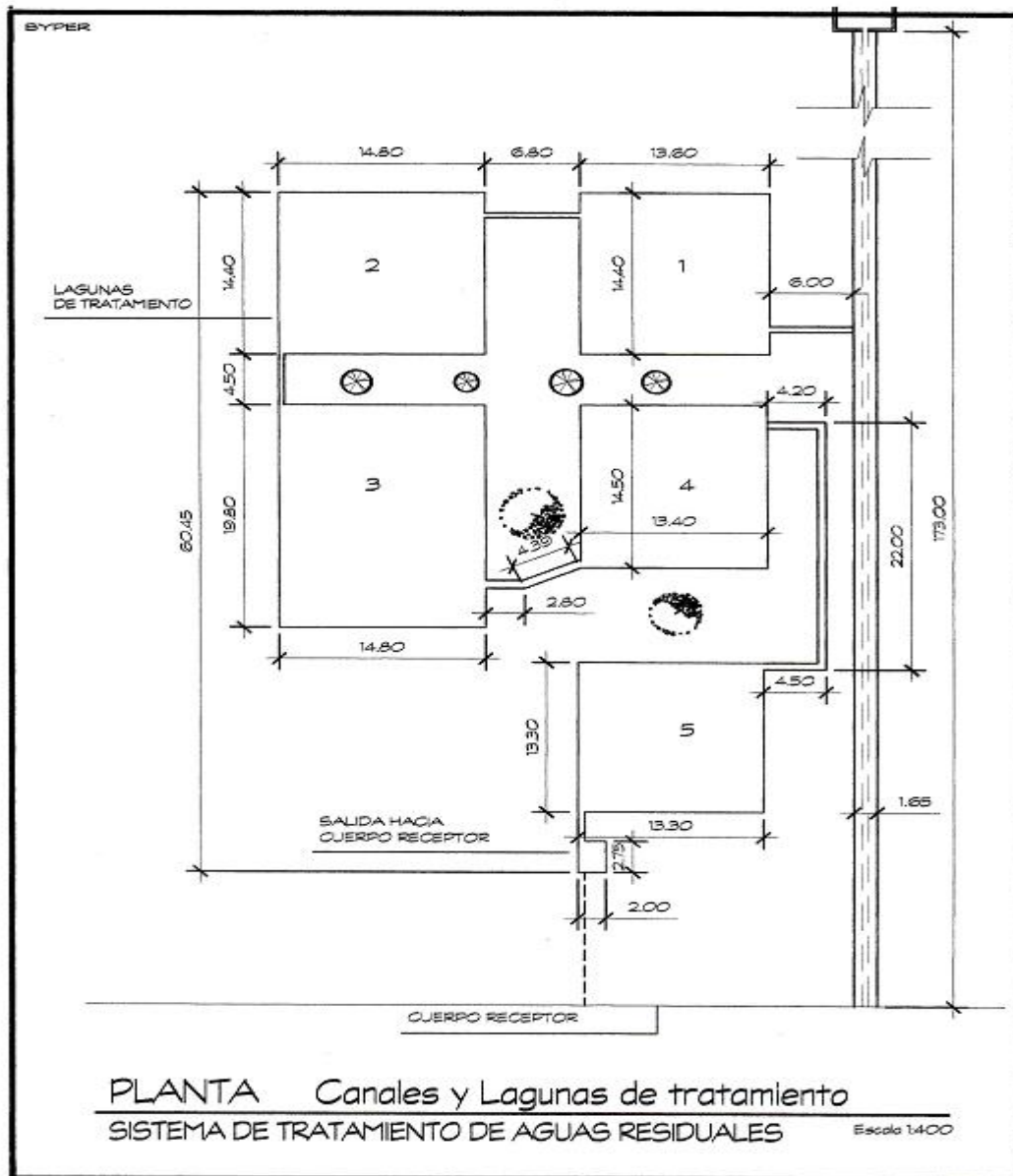
APÉNDICE

Plano general del sistema de tratamiento de aguas residuales



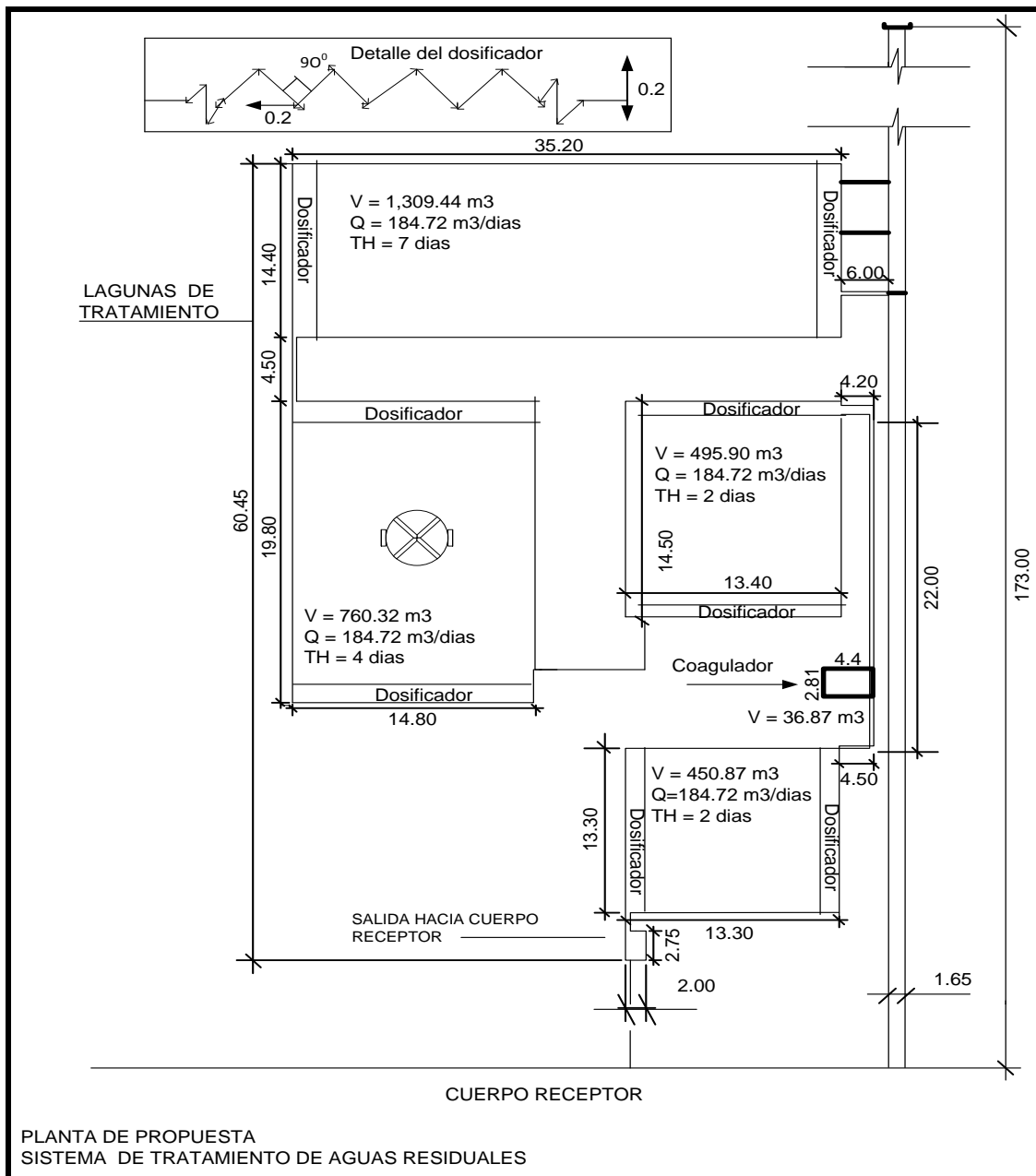
Fuente: elaboración propia.

Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización



Fuente: elaboración propia.

Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales, como propuestas de mejoras



Fuente: elaboración propia.

Planta de tratamiento de aguas residuales, antes de las mejoras puestas en marcha



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Planta de tratamiento de aguas residuales, después de las mejoras puestas en marcha



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Toma de muestras de agua residual en el primer punto



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Toma de muestras de agua residual en el segundo punto de muestreo



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Toma de muestras de agua residual en el tercer punto de muestreo



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Medición de caudal en el punto de descarga final del efluente



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Instrumento de medición automático compuesto de 24 horas, automuestreador ISCO GLS SAMPER



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Instrumento de medición de caudal automático compuesto de 24 horas, por sonda área velocidad ISCO 2150



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

**Instrumento de medición de temperatura y potencial de hidrógeno,
potenciómetro digital**



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.

Costos del experimento en estudio

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Q)	Precio total (Q)
Análisis fisicoquímicos de cada muestra en particular	9	680,22	6 121,98
Analistas para la toma de muestras	1	60	60
Días de realización de toma de muestras por mes	1 día/3 meses	60	180
Utilización de computadora	1	-----	6 200,00
Recipientes para muestra de agua	9	15	135
Compra de calzado (botas de hule)	1 par	40	40
Costo de pasaje durante 4 meses	----	-----	372
Utilización de energía eléctrica	4 meses	100	400
Compra de guantes, cofias y mascarillas	-----	-----	200
Utilización de impresora	---	----	150
Compra de hojas en blanco	2	10	20
Utilización de internet	3veces/4meses	4	48
TOTAL			13 926,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla de requisitos académicos

Área	Curso	Explicación.
Química	Química 3	Conocimientos adquiridos en estos dos cursos, para ser aplicados en el campo ambiental, ya que es muy importante para los métodos analíticos y estequiometricos.
	Química 4	
	Análisis Cuantitativo	Cursos utilizados al momento de analizar las diferentes variables del proyecto en estudio.
	Química Orgánica 1	Cursos que sirve para determinar las diferentes concentraciones de DBO y DQO y otras variables.
	Química Orgánica 2	
	Química Ambiental	Muy importante en el proyecto, ya que se basa en el impacto ambiental, que genera el agua residual.

Continúa tabla.

	Ecología	Aplicar los conocimientos adquiridos en este curso, en todo el ámbito ambiental y de las posibles propuestas de mejoras.
	Control de Contaminantes Industriales	Determinar el peligro en el campo de los desechos industriales y los problemas que genera una empresa agroindustrial en particular.
Fisicoquímica	Laboratorio de fisicoquímica 1	.Utilizar todo el conocimiento visto en estos dos cursos, para realizar análisis a nivel de laboratorio, de las diferentes variables que se estudian en el presente proyecto.
	Laboratorio de fisicoquímica 2	

Continúa tabla.

Operaciones unitarias	Balance de Masa y Energía (IQ1)	Balances de masa y energía, que puede realizarse en el sistema de tratamiento de aguas residuales.
	Flujo de Fluidos (IQ2)	Identificar el comportamiento de la medición de caudal, áreas, volúmenes y el tipo de fluido que se puede generar en el sistema de aguas residuales.
	Transferencia de Calor (IQ3)	Curso muy importante, en el presente proyecto, ya que tiene mucha importancia desde el punto vista de proceso de producción hasta el punto final de la descarga del efluente, relacionado con los equipos que se tienen en la planta.

Continúa tabla.

	Transferencia de Masa (IQ4)	Curso importante al momento de determinar las diferentes concentraciones, que pueden variar en un determinado equipo, como proponer un equipo para las posibles mejoras de un tratamiento más adecuado.
	Transferencia de Masa Unidades Continuas (IQ5)	Curso que tiene mucha importancia en la industria, ya que se ve todo el proceso de secado del sólido.
	Laboratorio de Ingeniería Química 1	Cursos destinados para utilizarlos en el campo de la práctica, ya que es muy importante los conocimientos previos, antes de manipular un equipo a nivel industrial
	Laboratorio de Ingeniería Química 2	

Continúa tabla.

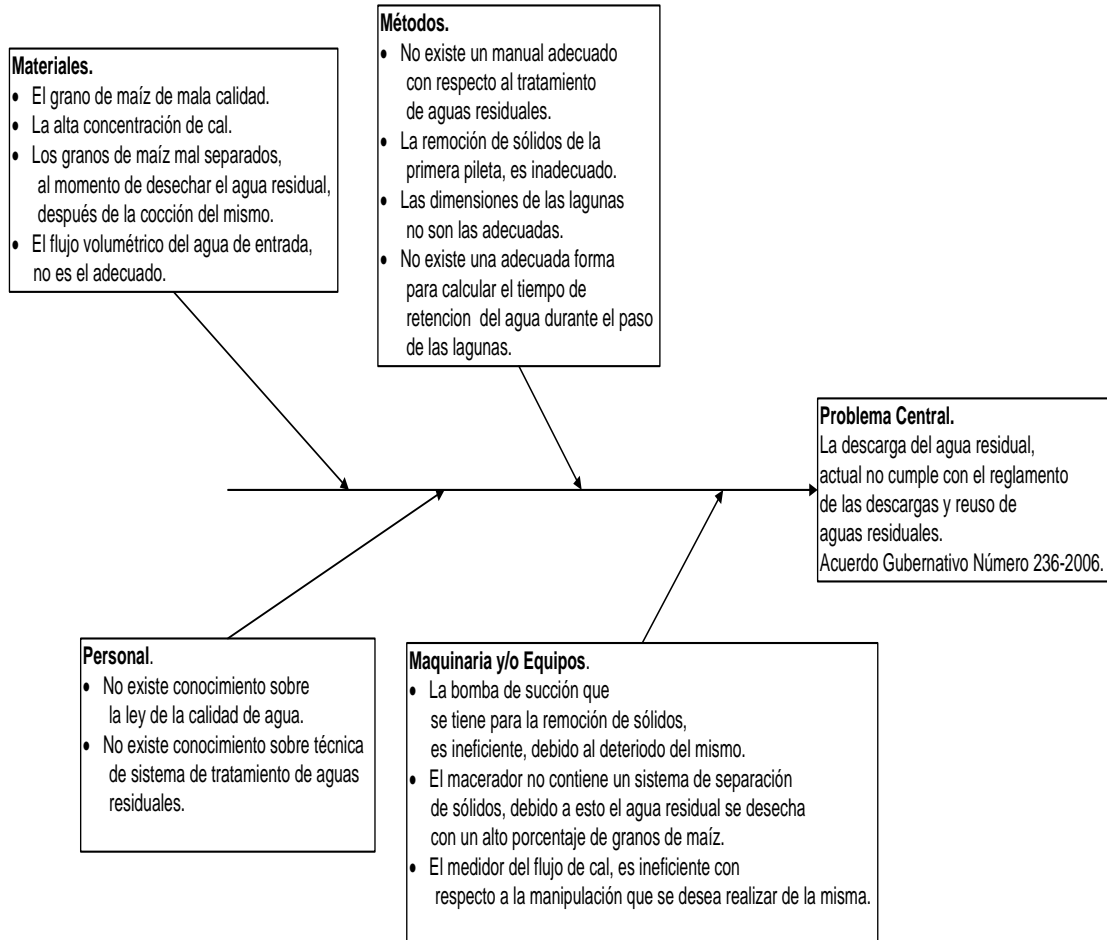
Especialización	Microbiología	Los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en este curso, se relacionan, con los métodos de incubación que se someten algunas variables, para el presente proyecto.
	Diseño de Equipo	El diseño de un equipo requiere conocimientos teóricos, antes de proponer alternativas para mejorar la eficiencia de un equipo existente o para rediseñar un proceso.
	Ingeniería Económica 3	Para hacer una propuesta de mejoras desde el punto de vista de equipo, es necesario hacer una evaluación de costos aceptables.

Continúa tabla.

Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística 1	Utilizar la estadística descriptiva y la estadística inferencial, a través los conocimientos teóricos adquiridos de estos cursos.
	Estadística 2	
	Programación de Computadoras 1	Sin ningún paquete estadístico u otro tipo de software, sería muy tedioso realizar análisis estadísticos o simplemente editar, por lo tanto es necesario llevar a la práctica los conocimientos teóricos adquiridos en este curso.
	Ingeniería Económica 1	Utilizar todo lo teórico y llevarlo a cabo para evaluar los respectivos costos de producción.

Fuente: elaboración propia.

Diagrama de Ishikawa ó árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Artículo 17, modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno, para los entes generadores existentes deben de reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor

Etapa	Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
Etapa	Tres				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
Etapa	Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Artículo 20, límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Eficiencia de remoción de patógenos y parámetros convencionales para varios procesos

Proceso	Remoción, %		Remoción, Ciclos \log_{10} ⁴			
	DBO ₅	SS	Virus	Bacteria	Huevos de Helmintos	Quistes de Protozoarios
Sedimentación primaria	25—40	40—70	0—1	0—1	0—1	0—2
Lodos activados ¹	55—95	55—95	1—2	0—2	0—1	1—2
Filtros percoladores ¹	50—95	50—90	1—2	0—2	0—1	1—2
Desinfección con cloro	---	---	0—4	2—6	0—1	0—3
Lagunas en serie ²	70—95	55—95 ³	2—4	2—6	2—4 (100%)	2—4 (100%)

1. Precedidos y seguidos de sedimentación
2. Dependiendo del número de lagunas en serie, tiempo de retención hidráulica, y factores de diseño físico.
3. El efluente de lagunas puede contener altas concentraciones de SS en forma de algas.
4. 1 ciclo \log_{10} = 90% remoción; 2 ciclos = 99%; 3 ciclos = 99.9%; etc. Las lagunas pueden remover 100% de los huevos de helmintos y 100% de los quistes de protozoarios.

Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 7.

Tratamiento de aguas residuales en algunos países de América Central

País	Porcentaje Estimado de Descargas de Aguas Residuales que Reciben Cualquier Forma de Tratamiento, %
Costa Rica	4
El Salvador	2
Guatemala	1
Honduras	3

Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 5.

Relación entre temperaturas, tiempo de retención hidráulica y eficiencia en lagunas anaeróbicas

Temperatura, °C	TRH, días	Remoción de DBO, %
10—15	4—5	30—40
15—20	2—3	40—50
20—25	1—2	50—60
25—30	1—2	60—80

Fuente: STEWART M, Oakley. Lagunas de Estabilización en Honduras. p. 79.

Implementos y herramientas de operación y mantenimiento requeridos para un sistema de lagunas de estabilización

Artículo	Cantidad	Uso
Guantes de hule	2 pares	Protección de operador
Botas altas de hule	2 pares	Protección de operador
Capotes de hule	3	Protección de operador

Continúa tabla.

Botiquín de primeros auxilios	1	Protección de operador
Salvavidas	2	Protección de operador
Uniforme de campo	2	Protección de operador
Casco protector	2	Protección de operador
Rastrillo para rejilla	2	Limpieza de natas
Pala	2	Entierro de natas, sólidos, etc.
Pico	2	Excavación para el entierro
Carretilla de mano	1	Transporte de natas, sólidos, etc.
Cortadora de césped	1	Mantenimiento de grama
Martillo	1	Mantenimiento en general
Serrucho	1	Mantenimiento en general
Escoba	1	Mantenimiento en general
Desnatador (3m. de largo)	2	Limpieza de natas
Lancha	1	Medición de lodos, muestreo, etc.
Manguera	1	Limpieza en general
Machete	2	Mantenimiento de césped
Destornillador	2	Mantenimiento en general
Baldes	2	Recolección de natas y sólidos
Llaves Stilson de 12"	2	Mantenimiento en general

Fuente: MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 23.

Frecuencia de actividades de operación básica y mantenimiento rutinario de lagunas de estabilización

Actividad	Diario	Semanal	Cuando Sea Necesario	Observaciones
Operación Básica				
Medición de Caudales	x			Se registra diariamente. Se mide intensivamente durante las épocas secas y lluviosas.
Control de Niveles de Agua			x	Se registra los niveles.
Uso de Vertederos de Demasias			x	Durante sobrecargas hidráulicas.
Ajustamiento del Nivel de Descarga			x	Basado en las concentraciones de algas.
Detecciones Sensoriales			x	Hay que notar cambios en olores y colores.
Medición de Profundidad de Lodos			x	Una vez por año.
Mantenimiento Rutinario				
Rejillas	x			Se limpia las barras de material y enterrarlo.
Desarenadores	x	x		El material sedimentado debe ser agitado una vez por día y retirado semanalmente.
Natas y Sólidos Flotantes	x			Se utiliza un desnatador para retirar las natas y una carretilla para llevarlas al entierro.
Céspedes, Vegetación, Malezas			x	Se debe mantener una faja limpia.
Mosquitos, Moscas, Roedores			x	Deben ser controlados manteniendo limpias y sin vegetación las orillas de las lagunas.
Taludes, Cercos, Caminos			x	Deben revisarse por lo menos mensualmente.
Remoción de Lodos			x	Hay que tener 2 meses para secar los lodos dentro de la laguna, después sacarlos con un cargador frontal, y finalmente almacenarlos <i>en sitio</i> por un año.

Fuente: MENDOZA, Sergio Rolim. Sistemas de Lagunas de Estabilización. p. 73.

Problemas de funcionamiento de lagunas de estabilización y su solución

Síntoma	Causa	Solución
Acumulación de natas y sólidos flotantes	Falta de eliminación de sólidos gruesos por la rejilla. Flotación de lodos acumulados por burbujeo. Falta de limpieza con el desnatador.	Limpieza de la rejilla. Remoción de lodos acumulados. Mantenimiento adecuado con desnatador.
Crecimiento de lemna en la superficie.	Contaminación de lemna traída por viento, aves o animales.	Remoción de lemna con desnatadores o por la introducción de patos que comen lemna.
Malos olores	Condiciones anaeróbicas por sobrecarga orgánica. Descomposición de natas y material flotante. Presencia de químicos tóxicos.	Análisis de la causa de condiciones anaeróbicas: Caudal excesiva; descargas industriales; descomposición de lodos acumulados. Remoción de natas y material flotante. Hacer un monitoreo hasta que localice el problema.
Coloraciones Anormales: Verde Brilla Café Gris/Negro Amarillo/Verde Opaco Rosa/Rojo	Normal para lagunas facultativas y de maduración. Reducción en fotosíntesis. Condiciones anaeróbicas. Presencia de algas azules-verdes. Presencia de bacteria fotosintéticas del azufre por condiciones anaeróbicas.	Analizar para sobrecarga orgánica, químicos tóxicos. Analizar para sobrecarga orgánica. Significa baja en pH y oxígeno disuelto por sobrecarga o químicos tóxicos. Analizar para sobrecarga orgánica. Analizar para sobrecarga orgánica.
Crecimiento de Malezas	Demasiado baja la profundidad de agua. Falta de revestimiento. Falta de mantenimiento.	Control de nivel de agua. Construcción de revestimiento. Mantenimiento adecuado.
Mosquitos y Insectos	Focos de reproducción para sus larvas.	Remoción de plantas emergentes acuáticas y material flotante. Variación de nivel de agua para secar larvas en la orilla.

Fuente: STEWART, Oakley, Ph.D. Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras. p. 26.

Índice de biodegradabilidad del agua residual

Relación DBO ₅ /DQO	Valor	Tipo de agua
DBO ₅ /DQO	Menor que 0,2	No biodegradable
	Entre 0,2 y 0,4	Biodegradable
	Mayor que 0,4	Muy biodegradable

Fuente: YÁNEZ COSSIO, Fabián, Ph.D. Lagunas de Estabilización (Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento). p. 10.

Valores obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos del agua residual, para el mes de marzo de 2010

INFORME DE LABORATORIO

ACREDITADO ISO 17025



OGA
ACREDITADO
OGA-LE-018-07

DEMAGUSA



Carretera a Canalitos
21-96 Zona 17
Tel.: 2256-4117
Fax: 2258-5609
www.fqblab.com

Tipo de muestra:
Agua residual

Condiciones de la muestra:
Agua residual

Análisis solicitado:
Fisicoquímico

Fecha de muestreo:
02 y 03/03/2010

Fecha de proceso:
04/03/2010

Sitio de descarga:
Cuerpo Receptor

Método de muestreo:
Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150

Responsible del análisis:
Rina L. Orellana Ayala

Transcripción del informe:
Lissette Uyi Martínez

Agua residual
Temperatura de recepción: 0,5 °C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack

Ambiental y microbiológico
02 y 03/03/2010

Cuerpo Receptor
Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150

SMW Met 1060 Pág. 1-27 a 1-35

Rina L. Orellana Ayala
Lissette Uyi Martínez

Determinaciones fisicoquímicas	Salida de agua residual de planta (ingreso a sistema de tratamiento) N: 14°38'20,7" O: 090°47'18,5" Altura 1,769 mts SNM (No. Lab. 1049)	Salida de agua residual después del sistema de lagunas (descarga final) N: 14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1,743 mts SNM (No. Lab. 1050)
Demanda química de oxígeno (DQO) ^(*)	17970,0 mg O₂/L	4180,0 mg O₂/L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) ^(*)	8040,0 mg O₂/L	2010,0 mg O₂/L
Sólidos sedimentables ^(*)	270,0 ml/L	170,0 ml/L
Materia flotante	Presente	Presente
Sólidos en suspensión ^(*)	14020,0 mg/L	8614,5 mg/L
Grasas y aceites	24,0 mg/L	15,0 mg/L
Color	95000,0 Pt/Co	22900,0 Pt/Co
Nitrógeno	47,5 mg/L	49,8 mg/L
Fósforo total	1,2 mg/L	0,4 mg/L
Coliformes fecales ^(*)	2,8 NMP/100ml	27000 NMP/100ml

SIGLAS USADAS: SMW- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. 2003.
SQ- Método Spectroquímico

Parámetros	Métodos de Referencia
Sólidos en suspensión: sólidos secados entre 103 a 105° C	SMW Met. 2540 D Pág. 2-58
Sólidos sedimentables:	SMW Met. 2540 F Pág. 2-59 y 2-60
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) método respirométrico	Institutivo de Mercaderías Costas (análogo a SMW Met. 5210 D Pág. 5-10 a 5-13)
Demanda química de oxígeno (DQO) método colorimétrico	SQ Met. 14555 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14541 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14690 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19)
Materia flotante	Visual
Grasas y aceites: método de partición gravimétrica	SMW Met. 5520 B Pág. 5-37 y 5-38
Color	Colorímetro
Nitrógeno	SQ Met. 14537
Fósforo total	SQ Met. 14848
Coliformes fecales	SMW Met. 9221 E Pág. 9-86 y 9-87

Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios
Muestras no creadas por personal de F. Q. B. Laboratorios.

(*) Análisis acreditados conforme la norma: COGUANOR NTG/ISO/IEC 17 025:2005
OGA-LE-018-07

Código: DEMA20100301



LICDA. RINA L. ORELLANA AYALA
JEFE DE LABORATORIO
F.Q.B. LABORATORIOS
QUÍMICA BIOLÓGICA
COLEGIADO No. 1858




INNOLAB
CONSTRUYENDO CALIDAD

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Valores de temperatura y potencial de hidrógeno en diferentes puntos de muestreos, correspondiente para el mes de marzo de 2010

INFORME DE LABORATORIO

ACREDITADO ISO 17025



ACREDITADO OGA-LE-018-07

DEMAGUSA



Carretera a Canalitos
21-96 Zona 17
Tel.: 2256-4117
Fax: 2258-5609
www.fqblab.com

Tipo de muestra: Aguas residuales
Condiciones de la muestra: Temperatura de recepción: 0,5 °C. Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack
Análisis solicitado: Determinación de pH y temperatura
Fecha de muestreo: 02 y 03/03/2010
Fecha de proceso: 04/03/2010
Sitio de descarga: Cuerpo Receptor
Método de muestreo: Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150
Responsable del análisis: Rina L. Orellana Ayala
Transcripción del informe: Lissette Uyrú Martínez


Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida in situ)	pH (*) (medida in situ)
Salida de agua residual de planta (ingreso a sistema de tratamiento) N: 14°38'20,7" O: 050°47'18,5" Altura 1.769 mts SNM	1049	02/03/2010	12:52	65,0°C	10,62
		03/03/2010	15:55	69,4°C	10,40
Salida de agua residual después del sistema de lagunas (descarga final) N: 14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1.743 mts SNM	1050	02/03/2010	12:00	26,4°C	7,58
		03/03/2010	15:14	25,9°C	7,18

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 Ed. 2005.
SQ: Método Spectraquant

Parámetros	Métodos de Referencia
Potencial de hidrógeno (pH), método electroquímico	SMW Met. 4520-H B Pág. 4-30 a 4-34


Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobada por F. Q. B. Laboratorios

(*) Análisis acreditados conforme la norma: COGUANOR NTG/ISO/IEC 17 025:2005
OGA-LE-018-07



LICDA. RINA L. ORELLANA AYALA
JEFE DE LABORATORIO
F.Q.B. LABORATORIOS
QUÍMICA BIÓLOGA
COLEGIADO No. 1858

Código: DEMA20100301



INNOLAB
CONSTRUYENDO CALIDAD

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Valores obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos del agua residual, para el mes de septiembre de 2010

INFORME DE LABORATORIO

ACREDITADO ISO 17025



ACREDITADO OGA-LE-018-07



Carretera a Canaltos
21-96 Zona 17
PBX: (502) 2390-2500
FAX: (502) 2390-2599
www.fqblab.com

DEMAGUSA

Agua residual
Temperatura de recepción: 4,0 °C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack
Ambiental y microbiológico
06 y 07/09/2010
08/09/2010
Cuerpo Receptor
Automática Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150
SMW Met 1060 Pág. 1-27 a 1-35
Rina L. Orellana Ayala
Lissette Uyt Martínez

*Responsable del análisis:
Transcripción del informe:*

Determinaciones fisicoquímicas	Salida de agua residual especial de planta N:14°38'20,7" O: 090°47'18,5" Altura 1,769 mts SNM (No. Lab. 105552 A)	Salida de agua residual especial entrada laguna N:14°44'21,3" O: 091°09'32,1" Altura 1,703 mts SNM (No. Lab. 105553)	Salida de agua residual especial laguna final N:14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1,743 mts SNM (No. Lab. 105554)
Demanda química de oxígeno (DQO) ^(*)	28250,0 mg O ₂ /L	-----	13550,0 mg O ₂ /L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) ^(*)	14070,0 mg O ₂ /L	-----	8040,0 mg O ₂ /L
Sólidos sedimentables ^(*)	500,0 ml/L	450,0 ml/L	90,0 ml/L
Materia flotante	Presente	Presente	Presente
Sólidos en suspensión ^(*)	11522,0 mg/L	9252,0 mg/L	2376,0 mg/L
Grasas y aceites	10,6 mg/L	-----	33,4 mg/L
Color	49800,0 Pt/Co	-----	2260,0 Pt/Co
Nitrógeno	115,0 mg/L	-----	18,0 mg/L
Fósforo total	3,0 mg/L	-----	2,0 mg/L
Coliformes fecales ^(*)	-----	-----	14000 NMP/100ml

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. 2005.
SQ: Método Spectroquant.

Parámetros	Métodos de Referencia
Sólidos en suspensión totales secados entre 103 a 105° C	SMW Met. 2540 D Pág. 2-58
Sólidos sedimentables	SMW Met. 2540 F Pág. 2-59 y 2-60
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): método respirimétrico	Instructivo de Merck Línea Oatop (análogo a SMW Met. 5210 D Pág. 5-10 a 5-11)
Demanda química de oxígeno (DQO): refugio cerrado, método colorimétrico	SQ Met. 14555 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14541 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14650 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19)
Materia flotante	Visual
Grasas y aceites, método de partición gravimétrica	SMW Met. 5520 B Pág. 5-37 y 5-38
Color	Colorímetro
Nitrógeno	SQ Met. 14537
Fósforo total	SQ Met. 14848
Coliformes fecales	SMW Met. 9221 E Pág. 9-26 y 9-57

Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios
(*) Análisis acreditados conforme la norma: COGUANOR NTG/ISO/IEC 17 025:2005 OGA-LE-018-07

Código: DEMA20100901



LICDA. LUCIA FERNANDA BARRIENTOS CH
GERENTE TECNICO
F.Q.B. LABORATORIOS
QUÍMICA BIOLÓGICA
COLEGIADO No. 1598



2/3
INNOLAB
CONSTRUYENDO CALIDAD

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Valores de temperatura y potencial de hidrógeno en diferentes puntos de muestreos, correspondiente para el mes de septiembre de 2010

INFORME DE LABORATORIO ACREDITADO ISO 17025		 Carretera a Canalitos 21-96 Zona 17 PBX: (502) 2390-2500 FAX: (502) 2390-2599 www.fqblab.com																																							
 ACREDITADO OGA-LE-018-07		DEMAGUSA																																							
ACREDITADO OGA-LE-018-07 tipo de muestra: Condiciones de la muestra: Análisis solicitado: Fecha de muestreo: Fecha de proceso: Sitio de descarga: Método de muestreo: Responsable del análisis: Transcripción del informe:		Aguas residuales Temperatura de recepción: 4,0 °C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack Determinación de pH y temperatura 06 y 07/09/2010 06 y 07/09/2010 Cuerpo Receptor Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150 SMW Met 1060 Pág. 1-27 a 1-35 Rina L. Orellana Ayala Lissette Uyi Martínez																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Identificación de la muestra</th> <th>(No. Lab)</th> <th>Fecha</th> <th>Hora de medición</th> <th>Temperatura (medida in situ)</th> <th>pH (*) (medida in situ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Salida de agua residual especial de planta N: 14°38'20,7" O: 090°47'18,5" Altura 1,769 mts SNM</td> <td rowspan="2">105552 A</td> <td>06/09/2010</td> <td>16:30</td> <td>68,5°C</td> <td>10,22</td> </tr> <tr> <td>07/09/2010</td> <td>16:40</td> <td>60,1°C</td> <td>10,35</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Salida de agua residual especial entrada laguna N: 14°44'21,3" O: 091°09'32,1" Altura 1,703 mts SNM</td> <td rowspan="2">105553</td> <td>06/09/2010</td> <td>17:00</td> <td>48,0°C</td> <td>5,47</td> </tr> <tr> <td>07/09/2010</td> <td>17:01</td> <td>43,2°C</td> <td>5,62</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Salida de agua residual especial laguna final N: 14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1,743 mts SNM</td> <td rowspan="2">105554</td> <td>06/09/2010</td> <td>18:00</td> <td>24,0°C</td> <td>6,81</td> </tr> <tr> <td>07/09/2010</td> <td>17:32</td> <td>11,4°C</td> <td>6,85</td> </tr> </tbody> </table>						Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida in situ)	pH (*) (medida in situ)	Salida de agua residual especial de planta N: 14°38'20,7" O: 090°47'18,5" Altura 1,769 mts SNM	105552 A	06/09/2010	16:30	68,5°C	10,22	07/09/2010	16:40	60,1°C	10,35	Salida de agua residual especial entrada laguna N: 14°44'21,3" O: 091°09'32,1" Altura 1,703 mts SNM	105553	06/09/2010	17:00	48,0°C	5,47	07/09/2010	17:01	43,2°C	5,62	Salida de agua residual especial laguna final N: 14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1,743 mts SNM	105554	06/09/2010	18:00	24,0°C	6,81	07/09/2010	17:32	11,4°C	6,85
Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida in situ)	pH (*) (medida in situ)																																				
Salida de agua residual especial de planta N: 14°38'20,7" O: 090°47'18,5" Altura 1,769 mts SNM	105552 A	06/09/2010	16:30	68,5°C	10,22																																				
		07/09/2010	16:40	60,1°C	10,35																																				
Salida de agua residual especial entrada laguna N: 14°44'21,3" O: 091°09'32,1" Altura 1,703 mts SNM	105553	06/09/2010	17:00	48,0°C	5,47																																				
		07/09/2010	17:01	43,2°C	5,62																																				
Salida de agua residual especial laguna final N: 14°38'14,6" O: 090°47'21,3" Altura 1,743 mts SNM	105554	06/09/2010	18:00	24,0°C	6,81																																				
		07/09/2010	17:32	11,4°C	6,85																																				
SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 Ed. 2005. SQ: Método Spectroquant.																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetros</th> <th>Métodos de Referencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potencial de hidrógeno (pH), ensayo electrónico</td> <td>SMW Met. 4500-H⁺ B Pág. 4-90 a 4-94</td> </tr> </tbody> </table> Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios						Parámetros	Métodos de Referencia	Potencial de hidrógeno (pH), ensayo electrónico	SMW Met. 4500-H ⁺ B Pág. 4-90 a 4-94																																
Parámetros	Métodos de Referencia																																								
Potencial de hidrógeno (pH), ensayo electrónico	SMW Met. 4500-H ⁺ B Pág. 4-90 a 4-94																																								
(*) Análisis acreditados conforme la norma: COGUANOR NTG/ISO/IEC 17 025:2005 OGA-LE-018-07																																									
Código: DEMA20100901		 LICDA. LUISA FERNANDA BARRIENTOS CH GERENTE TÉCNICO F. Q. B. LABORATORIOS QUÍMICA BIOLÓGICA COLEGIADO No. 1598		 3/3 CONSTRUYENDO CALIDAD																																					

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Valores obtenidos a partir de los análisis fisicoquímicos del agua residual, para el mes de enero de 2011

INFORME DE LABORATORIO

ACREDITADO ISO 17025



ACREDITADO OGA-LE-018



Carretera a Canalitos
21-96 Zona 17
Tel.: 2256-4117
Fax: 2258-5609
www.fqblab.com

DEMAGUSA

Tipo de muestra: Aguas residuales

Condiciones de la muestra: Temperatura de recepción: 0,4 °C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack

Análisis solicitado: Ambiental y microbiológico

Fecha de muestreo: 25 y 26/01/2011

Fecha de proceso: 27/01/2011

Sitio de descarga: Quebrada chocollera (Cuerpo receptor)

Método de muestreo: Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150
SMW Met 1060 Pág. 1-27 a 1-35

Responsable de análisis: Rina L. Orellana Ayala

Transcripción del informe: Lissette Uyá Martínez

Determinaciones fisicoquímicas	Agua residual especial salida de planta (No. Lab. 111160)	Entrada laguna 1 (No. Lab. 111161)	Salida laguna final (No. Lab. 111162)
Demanda química de oxígeno (DQO) (°)	25200,0 mg O ₂ /L	26750,0 mg O ₂ /L	3680,0 mg O ₂ /L
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (°)	8442,0 mg O ₂ /L	9045,0 mg O ₂ /L	1809,0 mg O ₂ /L
Relación DQO/DBO	3,0	2,9	2,0
Sólidos sedimentables (°)	90,0 ml/L	250,0 ml/L	15,0 ml/L
Materia flotante	Presente	Presente	Ausente
Sólidos en suspensión (°)	8245,0 mg/L	5462,5 mg/L	1905,0 mg/L
Grasas y aceites	115,0 mg/L	60,0 mg/L	56,0 mg/L
Color	1410,0 Pt/Co	2600,0 Pt/Co	1861,0 Pt/Co
Nitrógeno total	78,0 mg/L	100,0 mg/L	19,0 mg/L
Fósforo total	4,7 mg/L	4,9 mg/L	12,0 mg/L
Coliformes fecales (°)	18000 NMP/100ml	20000 NMP/100ml	110000 NMP/100ml

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. 2005.
SQ: Método Spectrofotométrico.

Parámetros	Métodos de Referencia
Sólidos totales secados entre 103 a 105° C	SMW Met. 2540 B Pág. 2-56
Sólidos en suspensión totales secados entre 103 a 105° C	SMW Met. 2540 D Pág. 2-58
Sólidos sedimentables	SMW Met. 2540 F Pág. 2-59 y 2-60
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), método respirométrico	Instructivo de Merck Lines OxiTop, análogo a SMW Met. 5210 D Pág. 5-10 a 5-13 y
Demanda química de oxígeno (DQO), refugio cerrado, método colorimétrico	SQ Met. 14595 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14541 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19) SQ Met. 14690 (análogo a SMW Met. 5220 D Pág. 5-18 y 5-19)
Materia flotante	Visual
Grasas y aceites, método de partición gravimétrica	SMW Met. 5520 B Pág. 5-37 y 5-38
Color	Colorímetro
Nitrógeno	SQ Met. 14537
Fósforo total	SQ Met. 14448
Coliformes fecales	SMW Met. 9221 E Pág. 9-56 y 9-57

Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios

(°) Análisis acreditados conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025

Código: DEMA20110102



LIDIA LUISA FERNANDA BARRIENTOS CH
GERENTE TÉCNICO
F.Q.B. LABORATORIOS
QUÍMICA BIOLÓGICA
COLEGIADO No. 1598




INNOLAB
CONSTRUYENDO CALIDAD

Fuente: Laboratorio FQBLAB.


Valores de temperatura y potencial de hidrógeno en diferentes puntos de muestreos, correspondiente para el mes de enero de 2011

INFORME DE LABORATORIO

ACREDITADO ISO 17025



ACREDITADO OGA-LE-018-07



Carretera a Canalitos
21-96 Zona 17
Tel.: 2256-4117
Fax. 2258-5609
www.fqblab.com

DEMAGUSA

Tipo de muestra:
Condiciones de la muestra:
Análisis solicitado:
Fecha de muestreo:
Fecha de proceso:
Sitio de descarga:
Método de muestreo:

Responsable de análisis:
Transcripción del informe:

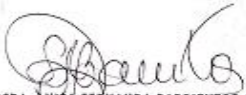
Aguas residuales
Temperatura de recepción: 0,4 °C, Envase: tambos plásticos, frascos de vidrio y bolsas whirl-pack
Determinación de pH y temperatura
25 y 26/01/2011
25 y 26/01/2011
Quebrada Chocollera (cuerpo receptor)
Automático Compuesto de 24 hrs. automuestreador ISCO GLS y medidor de caudal por sonda área velocidad ISCO 2150
SMW Met. 1060 Pág. 1-27 a 1-35
Rina L. Orellana Ayala
Lissette Uyu Martínez

Identificación de la muestra	(No. Lab)	Fecha	Hora de medición	Temperatura (medida <i>in situ</i>)	pH(*) (medida <i>in situ</i>)
Agua residual especial salida de planta	111160	25/01/2011	16:00	64,2 °C	10,48
		26/01/2011	16:36	63,2 °C	10,53
Entrada laguna 1	111161	25/01/2011	16:30	75,4 °C	5,89
		26/01/2011	16:53	45,6 °C	5,95
Salida laguna final	111162	25/01/2011	17:00	25,9 °C	7,24
		26/01/2011	17:30	23,5 °C	7,37

SIGLAS USADAS: SMW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 Ed. 2005.
 SQ: Método Spectroquant.
 (*) Análisis acreditados conforme a la norma COGUANOR NTG/ISO/IEC/17025


Parámetros	Métodos de Referencia
Potencial de hidrógeno (pH), método electroquímico	SMW Met. 4500-H ⁺ B Pág. 4-50 a 4-54
Temperatura	SMW Met. 2550 Pág. 2-61 y 2-62

Nota: La reproducción parcial o total del mismo deberá ser aprobado por F. Q. B. Laboratorios



LICDA. LUISA FERNANDA BARRIENTOS CH
GERENTE TÉCNICO
F.Q.B. LABORATORIOS
QUÍMICA BIOLÓGICA
COLEGIADO No. 1598

Código: DEMA20110102



INNOLAB
CONSTRUYENDO CALIDAD

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Medición de caudal en el último punto de muestreo, correspondiente para el mes de marzo de 2010



TABLA DE CAUDAL

Lugar de medición: Salida de agua residual después del sistema de lagunas (Descarga final)

Fecha: 02 y 03 de marzo, 2010

Medición: Compuesto de 24 Anz con equipo automático de caudal
 Área velocidad ISO 2150

Salida de agua residual después del sistema de lagunas (descarga final)		
FECHA	HORAS	Caudal (L/Seg)
02/03/2010	13:00	2,74
	13:15	2,52
	13:30	2,56
	13:45	2,83
	14:00	2,57
	14:15	2,49
	14:30	2,50
	14:45	2,54
	15:00	2,48
	15:15	2,52
	15:30	2,55
	15:45	2,00
	16:00	1,97
	16:15	2,00
	16:30	2,06
	16:45	2,42
	17:00	2,87
	17:15	2,83
	17:30	2,74
	17:45	2,70
	18:00	2,80
	18:15	2,74
	18:30	2,75
	18:45	2,80
	19:00	2,68
	19:15	2,75
	19:30	2,81
	19:45	2,84
	20:00	2,82
	20:15	2,65
	20:30	2,71
	20:45	2,89
	21:00	3,04
	21:15	3,15
	21:30	2,90
	21:45	2,57
	22:00	2,68
	22:15	2,70
	22:30	2,68
	22:45	2,68
	23:00	2,67
	23:15	2,65
	23:30	2,61
	23:45	2,66
	0:00	2,67
	0:15	2,64
	0:30	2,83
	0:45	2,41
1:00	2,80	
1:15	2,71	
1:30	2,63	
1:45	2,65	
2:00	2,83	
2:15	2,91	

Continúa tabla.

03/03/2010	2:30	2,77
	2:45	2,83
	3:00	2,94
	3:15	2,98
	3:30	2,94
	3:45	2,97
	4:00	3,01
	4:15	2,96
	4:30	3,09
	4:45	3,18
	5:00	3,18
	5:15	3,24
	5:30	3,21
	5:45	3,18
	6:00	3,22
	6:15	3,20
	6:30	3,13
	6:45	3,26
	7:00	3,01
	7:15	2,98
	7:30	3,05
	7:45	3,14
	8:00	3,20
	8:15	3,29
	8:30	3,16
	8:45	3,54
	9:00	3,31
	9:15	3,05
	9:30	3,08
	9:45	2,99
	10:00	2,90
10:15	2,91	
10:30	2,90	
10:45	2,84	
11:00	2,86	
11:15	2,84	
11:30	2,87	
11:45	2,82	
12:00	2,87	
12:15	2,83	
12:30	2,77	
12:45	2,84	
13:00	2,86	
	PROMEDIO	2,81
	Caudal diario(*) -m ³ /dia-	245,71

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Medición de caudal en la descarga final del agua residual, correspondiente para el mes de septiembre de 2010



TABLA DE CAUDAL

Lugar de medición: Salida de agua residual especial laguna final

Fecha: 06 y 07 de septiembre, 2010

Medición: Compuesto de 36 hrs con equipo automático de caudal área velocidad ISO 2109

Salida de agua residual especial laguna final		
FECHA	HORAS	Caudal (L/seg)
	6:30	2,572642
	6:45	2,608837
	7:00	2,586161
	7:15	2,636439
	7:30	2,61416
	7:45	2,607328
	8:00	2,623494
	8:15	2,64122
	8:30	2,659683
	8:45	2,682389
	9:00	2,670894
	9:15	2,703862
	9:30	2,694413
	9:45	2,673472
	10:00	2,745316
	10:15	2,791853
	10:30	2,696093
	10:45	2,722547
	11:00	2,69682
	11:15	2,711727
	11:30	2,797842
	11:45	2,841121
	12:00	2,833434
	12:15	2,873597
	12:30	2,899321
	12:45	2,768365
	13:00	2,734959
	13:15	2,767813
	13:30	2,744816
	13:45	2,676955
	14:00	2,706078
	14:15	2,66464
	14:30	2,630888
	14:45	2,664497
06/09/2010	15:00	2,665861
	15:15	2,622687
	15:30	2,674327
	15:45	2,625002
	16:00	2,656415
	16:15	2,691952
	16:30	2,434071
	16:45	2,520951
	17:00	2,590457
	17:15	2,378479
	17:30	2,424169
	17:45	2,468441
	18:00	2,431771
	18:15	2,340464

Continúa tabla.

	18:30	2,304125
	18:45	2,366309
	19:00	2,27533
	19:15	2,259244
	19:30	2,272833
	19:45	2,224541
	20:00	2,2532
	20:15	2,307802
	20:30	2,309412
	20:45	2,301587
	21:00	2,30982
	21:15	2,370788
	21:30	2,548443
	21:45	2,789267
	22:00	2,998824
	22:15	3,068681
	22:30	3,016116
	22:45	3,022311
	23:00	2,955893
	23:15	2,771121
	23:30	2,771946
	23:45	2,585676
07/08/2010	0:00	2,448197
	0:15	2,37956
	0:30	2,335163
	0:45	2,294086
	1:00	2,173007
	1:15	2,026604
	1:30	1,946107
	1:45	1,985324
	2:00	1,915146
	2:15	1,895564
	2:30	1,888609
	2:45	1,858711
	3:00	1,87564
	3:15	1,899943
	3:30	1,986622
	3:45	2,113242
	4:00	2,244393
	4:15	2,511827
	4:30	2,601231
	4:45	2,687145
	5:00	2,745001
	PROMEDIO	2,52
	Caudal diario(") -m ³ /da-	203,98

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Medición de caudal en la descarga final del agua residual, correspondiente para el mes enero de 2011



DEMAGUSA
SERVIDORES DE MADE DE QUATEMALA, S.A.

TABLA DE CAUDAL

Lugar de medición: Agua residual especial salida de laguna final

Fecha: 25 y 26 de enero, 2011

Medición: Contador de 24 hrs con equipo automático de caudal
ava velocidad 1000 2500

FECHA	Agua residual especial salida de laguna final	
	HORAS	Caudal (L/Seg)
25/01/2011	5:00	2,44
	5:15	2,61
	5:30	2,36
	5:45	2,92
	6:00	3,72
	6:15	3,87
	6:30	3,83
	6:45	3,51
	7:00	3,17
	7:15	2,88
	7:30	2,67
	7:45	2,44
	8:00	1,94
	8:15	2,10
	8:30	2,06
	8:45	1,89
	9:00	1,79
	9:15	1,92
	9:30	1,85
	9:45	1,88
	10:00	1,77
	10:15	1,94
	10:30	1,79
	10:45	1,83
	11:00	1,80
	11:15	1,77
	11:30	1,83
	11:45	1,83
	12:00	1,80
	12:15	1,89
12:30	1,80	
12:45	1,89	
13:00	1,83	
13:15	1,82	
13:30	1,76	
13:45	1,73	
14:00	1,82	
14:15	1,66	
14:30	1,76	
14:45	1,75	
15:00	1,93	
15:15	1,84	
15:30	1,79	
15:45	1,76	
16:00	1,75	
16:15	1,75	
16:30	1,77	
16:45	1,83	
17:00	1,85	
17:15	2,00	
17:30	2,05	
17:45	2,08	
18:00	2,01	
18:15	2,04	
18:30	2,15	

Continúa tabla.

	18:45	2,35
	19:00	2,37
	19:15	2,49
	19:30	2,35
	19:45	2,41
	20:00	2,36
	20:15	2,38
	20:30	2,37
	20:45	2,21
	21:00	2,25
	21:15	2,42
	21:30	2,15
	21:45	2,32
	22:00	2,20
	22:15	2,23
	22:30	2,35
	22:45	2,30
	23:00	2,44
	23:15	2,32
	23:30	2,24
	23:45	2,19
26/01/2011	0:00	2,19
	0:15	2,25
	0:30	2,09
	0:45	2,03
	1:00	2,08
	1:15	1,93
	1:30	1,92
	1:45	1,89
	2:00	2,08
	2:15	2,11
	2:30	2,14
	2:45	2,23
	3:00	2,05
	3:15	2,28
	3:30	2,18
	3:45	1,95
	4:00	2,04
4:15	2,08	
4:30	1,94	
4:45	1,97	
5:00	1,75	
	PROMEDIO	2,14
	Caudal diario(*) -m ³ /dia-	184,46

Fuente: Laboratorio FQBLAB.

Localización geográfica de la industria manufacturera de harinas de maíz y de las lagunas de estabilización en estudio



Fuente: Planta de producción de harinas de maíz.