



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales

“Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para el Área de Tecnologías de la ESPOL, considerando su posterior reutilización en riego.”

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

Ángel Rafael Álava Gutiérrez
Ivonne Consuelo Cuenca Cobeña

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de algún modo colaboraron en la realización de este proyecto; al Ing. Guillermo Cárdenas (Director del Proyecto de Graduación), al Proyecto de la AECID y sus colaboradores; y al Ing. Justo Huayamave (Responsable del Laboratorio de Aguas), por su invaluable ayuda.

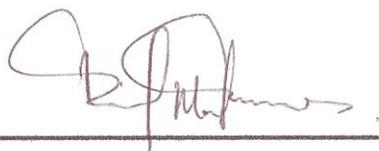
DEDICATORIA

A DIOS

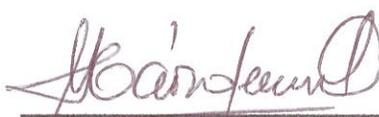
A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ph.D. David Matamoros C.
DIRECTOR DEL ICQA
PRESIDENTE



Ing. Guillermo Cárdenas M.
DIRECTOR DEL PROYECTO
DE GRADUACIÓN



MsC. Justo Huayamave N.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Ángel Álava Gutiérrez



Ivonne Cuenca Cobeña

RESUMEN

El Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se encuentra ubicado en el Km 30.5 vía Perimetral; las instalaciones físicas están claramente definidas en tres áreas: Ingenierías, Tecnologías y la más moderna la del PARCON. En conjunto la ESPOL es una institución de educación superior proyectada a la investigación, transferencia de tecnología y extensión de calidad para servir a la sociedad.

Actualmente la ESPOL dispone de un tratamiento que se considera deficiente para la descarga de las aguas residuales que se generan en el núcleo de Tecnología. El presente proyecto tiene la finalidad de caracterizar las actuales descargas para evaluar y diseñar conceptualmente un adecuado Sistema de Tratamiento de las aguas residuales en el área de Tecnologías de la ESPOL, para su posterior reutilización en riego.

El Proyecto busca ser eficiente y de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, permitiendo además el ahorro significativo del agua para utilizarse en el riego de áreas verdes en la vía politécnica, canchas, jardines, etc.; lo que implicaría un beneficio económico y ambiental para la ESPOL.

Las aguas tratadas deberán cumplir con los límites máximos permisibles de las tablas correspondientes al uso del agua para riego, descritos en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua - Libro VI. El Tratamiento propuesto dependerá de la caracterización previa de estas aguas, mediante los métodos correspondientes de muestreos, conservación y análisis de muestras que se encuentran detallados en el Standard Methods APHA – AWWA – WPCF Edition 21.

En este proyecto se analizarán varias opciones para el diseño del Sistema de Tratamiento; se compararán los métodos y al final se seleccionará la alternativa óptima para el Sistema de Tratamiento, donde se analizará los aspectos y costos de construcción, operación y mantenimiento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Conceptos Generales.....	3
1.2. Lagunas de Estabilización.....	4
1.2.1. Clasificación.....	6
1.2.2. Ventajas y Desventajas.....	8
1.3. Humedales Artificiales.....	10

1.3.1. Clasificación.....	10
1.3.2. Ventajas e inconvenientes de los Humedales Artificiales.....	12

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Conceptos básicos del metabolismo de los microorganismos.....	14
2.2. Descripción del Proceso de Tratamiento en Lagunas de Estabilización.....	15
2.2.1. Lagunas de estabilización aerobias.....	15
2.2.2. Lagunas de estabilización anaerobias.....	16
2.2.3. Lagunas de estabilización facultativas.....	17
2.2.4. Lagunas de pulimento o maduración.....	21
2.3. Factores que modifican el funcionamiento y diseño de las Lagunas de Estabilización.....	22
2.3.1. Calidad de agua a tratar.....	23
2.3.2. Aspectos físicos.....	24
2.3.2.1. Intensidad de la luz solar.....	24
2.3.2.2. Viento.....	26
2.3.2.3. Nubosidad.....	27
2.3.2.4. Precipitación pluvial.....	27

2.3.2.5. Infiltración y Evaporación.....	27
2.3.2.6. Temperatura.....	28
2.3.3. Aspectos químicos.....	29
2.3.3.1. Material disuelto y suspendido.....	29
2.3.3.2. Oxígeno Disuelto.....	29
2.3.3.3. Dióxido de Carbono y pH.....	30
2.3.3.4. Fósforo.....	31
2.3.3.5. Nitrógeno.....	32

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. Caracterización de las aguas.....	33
3.1.1. Toma y conservación de muestras.....	34
3.1.1.1. Precauciones Generales.....	34
3.1.1.2. Consideraciones sobre seguridad.....	34
3.1.1.3. Toma de muestras.....	34
3.1.1.4. Conservación de muestras.....	36
3.1.2. Tipos de análisis.....	38
3.1.2.1. Medición de caudal y temperatura del agua.....	38
3.1.2.2. Parámetros físico-químicos.....	40
3.1.2.3. Parámetros microbiológicos.....	43

3.2. Simulador y Programas para el diseño final.....	45
3.2.1. Simulador Microsoft Office Excel 2010.....	45
3.2.2. Programa Microsoft Office Visio Professional 2010.....	45
3.2.3. Programa Autocad 2010.....	46
CAPÍTULO 4	
4. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	47
4.1. Levantamiento Topográfico.....	49
4.2. Prospección geoelectrica.....	51
4.3. Estudio de Impacto Ambiental.....	53
CAPÍTULO 5	
5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	54
5.1. Condiciones ambientales.....	54
5.2. Datos de caudal y temperatura del agua.....	56
5.3. Resultado de la caracterización de las aguas.....	58
5.3.1. Tablas e Interpretación gráfica de resultados.....	58
5.4. Análisis de resultados.....	75

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA TECNOLOGÍAS.....	76
6.1. Conceptos básicos de diseño.....	77
6.2. Lagunas facultativas.....	79
6.2.1. Métodos de diseño.....	79
6.2.1.1. Métodos Racionales.....	80
6.2.1.2. Métodos Matemáticos.....	84
6.3. Lagunas de pulimento o maduración.....	84
6.3.1. Métodos de diseño.....	84
6.4. Sistemas combinados.....	85
6.5. Selección de alternativa óptima a ser considerada en el diseño conceptual definitivo.....	86
6.5.1. Comparación de métodos y Selección del sistema combinado propuesto.....	86
6.5.2. Descripción de la alternativa óptima seleccionada.....	87
6.5.3. Modelado del Sistema de Tratamiento.....	93
6.5.4. Elaboración de planos base.....	96

CAPÍTULO 7

7. DETALLES Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SELECCIONADO.....	98
7.1. Tratamiento preliminar.....	98
7.1.1. Rejillas.....	98
7.1.2. Fosa Séptica.....	99
7.2. Factores constructivos de las lagunas.....	101
7.2.1. Identificación del sitio.....	101
7.2.2. Impermeabilización.....	102
7.2.2.1. Revestimientos sintéticos.....	102
7.2.2.2. Criterios de selección.....	103
7.2.2.3. Instalación.....	103
7.2.3. Detalles constructivos de las lagunas.....	105
7.2.4. Tuberías e interconexiones.....	108
7.3. Elaboración de planos esquemáticos.....	109

CAPÍTULO 8

8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	113
8.1. Arranque del sistema.....	113
8.2. Laguna facultativa y maduración.....	113

8.3. Monitoreo y caracterización de las aguas.....	114
8.3.1. Localización de muestreos.....	116
8.3.2. Frecuencia de muestreos.....	119
8.4. Mantenimiento del Sistema de Tratamiento.....	121
CAPÍTULO 9	
9. COSTOS.....	125
9.1. Costos aproximados de inversión.....	125
9.1.1. Terreno y excavación.....	127
9.1.2. Construcción.....	127
9.1.3. Impermeabilización.....	128
9.1.4. Obras auxiliares.....	128
9.2. Costos aproximados por operación y mantenimiento.....	129
9.2.1. Personal de mantenimiento.....	129
Costos por análisis y monitoreo.....	130
CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES.....	136

ABREVIATURAS

$\mu\text{S/cm}$	Micro Siemens por centímetro
am	Antes del mediodía
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra
cm	centímetros
d	Días
DBO_5	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Agencia de Protección Ambiental
EPP`s	Equipos de Protección Personal
exp	Exponente
Fp	Factor punta
h	Hora
h.e.	Habitante equivalente
ICQA	Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales
Km/h	Kilómetros por hora
l	Litros
ln	Logaritmo natural
m	Metros
m^2	Metros al cuadrado
m^3	Metros Cúbicos
mg	Miligramos
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitros
mm	Milímetros
N	Nitrógeno
NMP	Número Más Probable
O.D.	Oxígeno Disuelto
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados

P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrógeno
pm	Después del mediodía y antes de la medianoche
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
UNT	Unidad Nefelométrica de Turbiedad

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
°	Grados
T	Temperatura
Q	Caudal
$Q_{\text{máx}}$	Caudal Máximo
Q_{medio}	Caudal medio
S	Latitud
W	Longitud (coordenadas)
T_r	Tiempo de retención hidráulica
V	Volumen
C_e	DBO ₅ del efluente
C_i	DBO ₅ del influente
K_d	Constante de reacción de primer orden
K_p	Constante de velocidad
C_{os}	Carga orgánica superficial
N_e	Número de coliformes fecales/100 ml en el efluente
N_i	Número de coliformes fecales/100 ml en el influente
K_b	Constante de velocidad para la eliminación de coliformes
K_T	Constante de reacción
V_f	Volumen efectivo del humedal
S	Superficie del humedal
p_s	Porosidad
K_R	Constante de reacción a la temperatura de referencia
T_W	Temperatura del agua del mes más frío
θ_R	Coefficiente de temperatura
L	Longitud
A	Área
h	Altura

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1.	Ciclo simbiótico microalgas-bacterias.....	5
Figura 1.2.	Esquema general de un humedal artificial de flujo horizontal.....	12
Figura 2.1.	Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias.....	16
Figura 2.2.	Esquema básico de operación de una laguna anaerobia.....	17
Figura 2.3.	Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativas.....	18
Figura 2.4.	Componentes de las aguas residuales urbanas.....	23
Figura 2.5.	Dispersión de luz en un cuerpo de agua.....	25
Figura 2.6.	Chlorella sp.....	26
Figura 2.7.	Ciclo del Fósforo.....	31
Figura 2.8.	Ciclo del Nitrógeno.....	32
Figura 3.1.	Caja receptora de aguas residuales del área de Tecnologías.....	35
Figura 4.1.	Vista Satelital del terreno en tecnologías de la ESPOL.....	48
Figura 4.2.	Vista de Planta del terreno entregado para el Proyecto....	48
Figura 4.3.	Equipo utilizado en el estudio topográfico (Teodolito).....	49

Figura 4.4.	Mapa topográfico.....	50
Figura 4.5.	Representación de perfiles.....	50
Figura 4.6.	Resistivímetro terrameter, utilizado para estudio geoelectrico.....	51
Figura 4.7.	Curva de interpretación del SEV y Modelo de perfil.....	52
Figura 6.1.	Balance de materia de una Laguna Facultativa.....	81
Figura 6.2.	Esquema de un canal de desbaste.....	89
Figura 6.3.	Sección Transversal de Fosa Séptica de dos compartimientos.....	90
Figura 6.4.	Esquema del funcionamiento de una laguna facultativa.	92
Figura 7.1.	Instalación de una geomembrana para Sistemas de Lagunaje.....	104
Figura 7.2.	Fase de desbroce para el proyecto.....	105
Figura 7.3.	Ejemplo de excavación para los sistemas de lagunaje....	106
Figura 7.4.	Modo de protección de los taludes.....	108
Figura 8.1.	Localización de la toma de muestra del influente de la laguna.....	117
Figura 8.2.	Localización de la toma de muestra en una laguna facultativa.....	118
Figura 8.3.	Localización de la toma de muestra en una laguna de maduración.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1.	Aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua.....	5
Tabla 3.1.	Fechas de muestreos.....	36
Tabla 3.2.	Orden y conservación de las muestras para los análisis.....	38
Tabla 3.3.	Biodegradabilidad del agua.....	42
Tabla 3.4.	Parámetros, Técnica y Equipos de análisis.....	43
Tabla 5.1.	Datos climáticos de la ciudad de Guayaquil.....	55
Tabla 5.2.	Caudales máximos, mínimos y medios.....	56
Tabla 5.3.	Temperaturas máximas, mínimas y medias del agua.....	57
Tabla 5.4.	Resultados de pH de las aguas residuales.....	59
Tabla 5.5.	Resultados de Conductividad de las aguas residuales.....	60
Tabla 5.6.	Resultados de Oxígeno Disuelto de las aguas residuales...	61
Tabla 5.7.	Resultados de DBO ₅ de las aguas residuales.....	62
Tabla 5.8.	Resultados de DQO de las aguas residuales.....	63
Tabla 5.9.	Resultados de Turbiedad de las aguas residuales.....	64
Tabla 5.10.	Resultados de Fósforo como Fosfatos de las aguas residuales.....	65

Tabla 5.11.	Resultados de Nitrógeno como Amonio de las aguas residuales.....	66
Tabla 5.12.	Resultados de Nitrógeno como Nitratos de las aguas residuales.....	67
Tabla 5.13.	Resultados de Nitrógeno como Nitritos de las aguas residuales.....	68
Tabla 5.14.	Resultados de Sólidos Totales de las aguas residuales.....	69
Tabla 5.15.	Resultados de Sólidos Disueltos de las aguas residuales...	70
Tabla 5.16.	Resultados de Sólidos Suspendidos de las aguas residuales.....	71
Tabla 5.17.	Resultados de Sólidos Sedimentables de las aguas residuales.....	72
Tabla 5.18.	Resultados de Coliformes Totales de las aguas residuales.	73
Tabla 5.19.	Resultados de Coliformes Fecales de las aguas residuales	74
Tabla 6.1.	Constante de reacción a temperatura T (d^{-1}).....	82
Tabla 6.2.	Valores de k_{p20} en función de la carga orgánica superficial.....	83
Tabla 6.3.	Valores recomendados para el diseño de un canal de desbaste.....	88
Tabla 6.4.	Valores recomendados para el diseño de una fosa séptica.	90

Tabla 6.5.	Porcentaje de remoción a la salida de la fosa séptica.....	91
Tabla 6.6.	Porcentaje de remoción a la salida de las lagunas.....	92
Tabla 7.1.	Criterios de selección para revestimientos sintéticos.....	103
	Frecuencia de caracterización de las aguas del Sistema de	
Tabla 8.1.	Tratamiento de aguas residuales del área de Tecnología- ESPOL.....	120
Tabla 8.2.	Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la fosa séptica.....	122
Tabla 8.3.	Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la laguna facultativa.....	123
Tabla 8.4.	Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la laguna de maduración.....	124
Tabla 9.1.	Elementos básicos que integran los costos de inversión en un Sistema de Tratamiento por lagunaje.....	126
Tabla 9.2.	Costos aproximados de materiales de construcción.....	127
Tabla 9.3.	Costo por compra e instalación de geomembrana.....	128
Tabla 9.4.	Costo anual aproximado por personal de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Tecnologías de la ESPOL.....	130
Tabla 9.5.	Costo aproximado anual por monitoreo y análisis de las aguas del Sistema de Tratamiento de Tecnologías-ESPOL	131

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 5.1. Comportamiento del caudal.....	57
Gráfico 5.2. Comportamiento de la temperatura del agua.....	58
Gráfico 5.3. Comportamiento del pH.....	59
Gráfico 5.4. Comportamiento de la Conductividad.....	60
Gráfico 5.5. Comportamiento del Oxígeno Disuelto.....	61
Gráfico 5.6. Comportamiento de la DBO ₅	62
Gráfico 5.7. Comportamiento de la DQO.....	63
Gráfico 5.8. Comportamiento de la Turbiedad.....	64
Gráfico 5.9. Comportamiento del fósforo como fosfato.....	65
Gráfico 5.10. Comportamiento del Nitrógeno como Amonio.....	66
Gráfico 5.11. Comportamiento del Nitrógeno como Nitratos.....	67
Gráfico 5.12. Comportamiento del Nitrógeno como Nitritos.....	68
Gráfico 5.13. Comportamiento de los Sólidos Totales.....	69
Gráfico 5.14. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales.....	70
Gráfico 5.15. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos.....	71
Gráfico 5.16. Comportamiento de los Sólidos Sedimentables.....	72

Gráfico 5.17. Comportamiento de los Coliformes Totales.....	73
Gráfico 5.18. Comportamiento de los Coliformes Fecales.....	74

ÍNDICE DE PLANOS

		Pág.
Plano 6.1.	Vista de Planta del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto en el área de Tecnologías-ESPOL...	96
Plano 6.2	Vista Lateral del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto en el área de Tecnologías-ESPOL...	97
Plano 7.1.	Diseño conceptual del Canal de desbaste.....	109
Plano 7.2.	Diseño conceptual de la Fosa Séptica.....	110
Plano 7.3.	Diseño conceptual de la Laguna Facultativa.....	111
Plano 7.4.	Diseño conceptual de la Laguna de Maduración.....	112

INTRODUCCIÓN

Nuestro proyecto tiene como objetivo principal, el diseño conceptual y de ingeniería de un Sistema de Tratamiento de las aguas residuales adecuado a las necesidades del área de Tecnologías de la ESPOL. Dentro de este contexto es importante mencionar que los factores a considerar principalmente son los recursos económicos y humanos necesarios para la implementación de un sistema eficiente, poco mecanizado y de bajo costo de inversión y operación.

Para pequeñas comunidades, como en el caso del área de Tecnología de la ESPOL, que generan residuos líquidos biodegradables, puede considerarse a las lagunas de estabilización como una muy buena opción para el tratamiento de las aguas.

Estas lagunas son depósitos, contruidos mediante la excavación y compactación de la tierra, que almacenan las aguas residuales por un determinado período de tiempo. Son reactores bioquímicos complejos que requieren un adecuado diseño, donde además de considerar el modelo matemático, es necesario tomar en cuenta las condiciones ambientales que determinan su forma de operación.

El proyecto busca establecer las definiciones, conceptos básicos y modelos matemáticos que se utilizarán para evaluar y seleccionar la alternativa óptima más conveniente para el diseño conceptual de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales del área de Tecnología de la ESPOL.

En este proyecto no se incluye el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del área disponible para el sistema de tratamiento; así como el estudio del tratamiento de los lodos, necesario en los sistemas de depuración. En los capítulos solo se hace mención de ellos y de su importancia dentro del proyecto.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. Conceptos Generales.

Los métodos individuales de tratamiento suelen clasificarse en:

- Operaciones físicas unitarias: En las que predominan la acción de las fuerzas físicas.
- Procesos químicos unitarios: La eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas.
- Procesos biológicos unitarios: La eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica.

Históricamente se asocia el término “pre-tratamiento y tratamiento primario” a las operaciones físicas unitarias; “tratamiento secundario” a los procesos químicos o biológicos y “tratamiento terciario” a las combinaciones de los tres.

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico, y revisadas las normativas a las que se debe ajustar, el grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente.

Tanto el conocimiento teórico, como la experiencia práctica, son necesarios en la elección de las combinaciones de las operaciones y los procesos unitarios conducentes a alcanzar los objetivos del tratamiento. [2]

1.2. Lagunas de Estabilización.

Una laguna de estabilización es, básicamente, una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros microorganismos.

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de autopurificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físicos, químicos y biológicos.

En la Tabla 1.1. y en la Figura 1.1. se describen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua y acciones simbióticas que se llevan a cabo en las lagunas de estabilización.

Proceso de Tratamiento del agua	
1	Es un proceso natural de autodepuración
2	La estabilización de materia orgánica se realiza por acción simbiótica de bacterias, algas y microorganismos superiores
3	Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida
4	Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que mantiene las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes biodegradables
5	Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales

Tabla 1.1. Aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

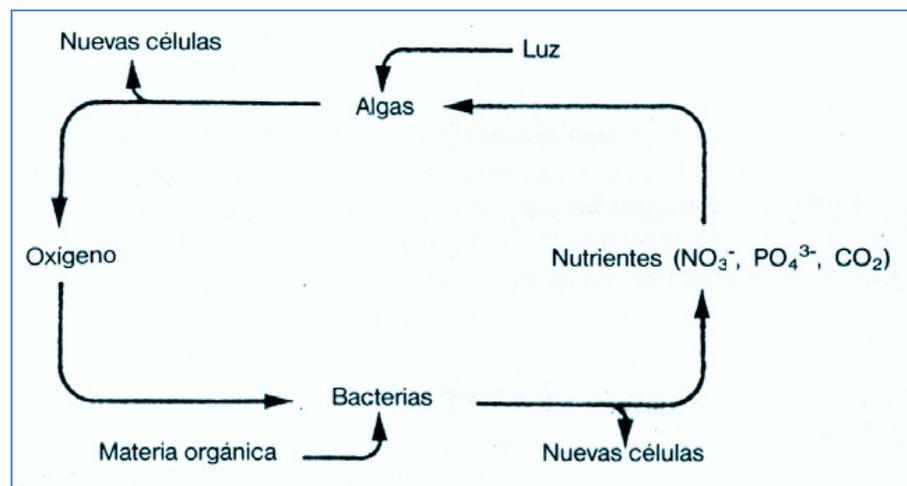


Figura 1.1. Ciclo simbiótico microalgas - bacterias

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

1.2.1. Clasificación.

Las lagunas y estanques de estabilización se clasifican generalmente por:

- El tipo de la reacción biológica predominante,
- La duración y frecuencia de la descarga,
- La extensión de la laguna,
- La presencia o ausencia de equipo de aeración, y
- El tipo de células presentes.

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica predominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios).

En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas:

a) Aerobias. Donde la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realizan en presencia de oxígeno disuelto, el cual se suministra en forma natural o artificial.

b) Anaerobias. La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).

c) Facultativas. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Las primeras se mantienen en el estrato superior de la laguna, mientras que en el inferior se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. En algunos casos puede haber aireación artificial en parte de ellas.

En general, cualquier tipo de laguna se puede utilizar para tratar aguas residuales domésticas. Las lagunas aireadas se utilizan normalmente para tratamiento de aguas residuales domésticas de baja carga, mientras que las no aireadas se emplean casi en su totalidad para tratar residuos municipales.

Las anaerobias se utilizan para tratamiento de residuos líquidos de origen industrial con elevado contenido de materia orgánica, generalmente, se emplean como el primer paso de un sistema lagunar con alta carga.

El término *lagunas de maduración o de pulimento* se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares.

Este tipo de laguna se diseña primordialmente para remover microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos desinfectantes, también se utilizan para nitrificar efluentes.

1.2.2. Ventajas y Desventajas.

Las ventajas asociadas con el uso de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento son las siguientes (Shelef y Kanarek, 1995):

- Bajo consumo de energía y costo de operación.
- Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.
- Esquemas sencillos de flujo.
- Equipos y accesorios simples y de uso común (número mínimo de tuberías, bombas y aireadores).
- Operación y mantenimiento simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos.
- Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.

- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.
- En algunos casos, remoción de nutrientes.
- Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa).
- Empleo como tanque de regulación de agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reúso.

Las principales desventajas son:

- Altos requerimientos de área.
- Efluente con elevado contenido de algas que al ser descargado en los cuerpos de agua es objetado, generando grandes controversias por su calidad proteica y su potencial de taponamiento del suelo, si se usa en riego.
- Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.
- Generación de olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo ciertas condiciones climáticas.

- Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas construidas sobre suelos arenosos.
- Pérdidas de agua debido a la evaporación e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes.

1.3. Humedales Artificiales.

Los Humedales Artificiales son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (menos de 1 m), plantados con plantas propias de zonas húmedas (macrófitos acuáticos)¹ y en los que los procesos de depuración se ejecutan de forma simultánea mediante acciones físicas, químicas y biológicas. [4]

1.3.1. Clasificación.

Dependiendo de si el agua a tratar circula a través de los humedales superficialmente (por encima del sustrato) o de forma subterránea (a través del sustrato), los humedales artificiales se clasifican en Humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) y Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSSs).

¹ Macrófitos acuáticos tiene una gran importancia en el funcionamiento de los sistemas acuáticos epi continentales al producir comida, refugio y gran variedad de hábitats para muchos organismos.

✓ **Humedales Artificiales de flujo superficial.**

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas.

Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas que, principalmente, tratan efluentes procedentes de tratamientos secundarios, y que también se emplean para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

✓ **Humedales Artificiales de flujo subsuperficial.**

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación que, habitualmente, suele ser carrizo.

En los HAFSs verticales la alimentación se efectúa de forma intermitente, para lo que se recurre generalmente al empleo de sifones. Las aguas circulan verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla, de aproximadamente 1 m. de espesor, en el que se fija la vegetación.

En los HAFSs horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente un sustrato

filtrante de gravillas-grava, de unos 0,6 m. de espesor, en el que se fija la vegetación.

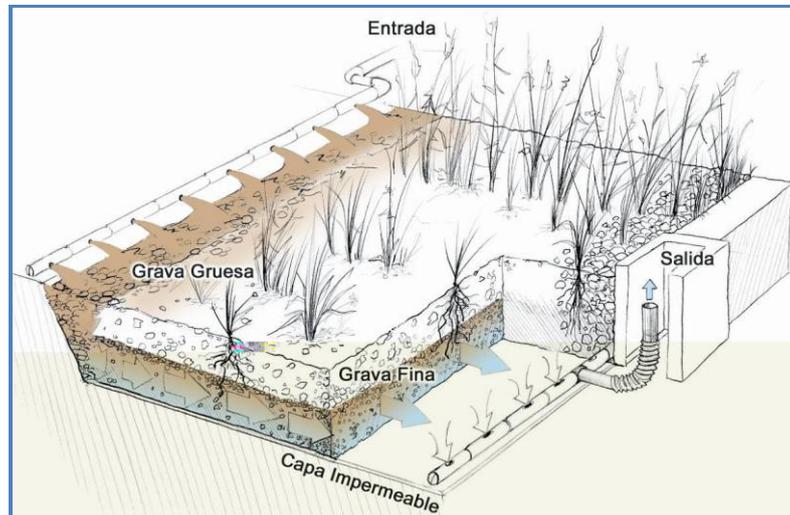


Figura 1.2. Esquema general de un humedal artificial de flujo horizontal.

Fuente: Instituto Tecnológico de Canarias. SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL. [8]

1.3.2. Ventajas e inconvenientes de los Humedales Artificiales.

Entre las ventajas tenemos:

- Sencillez operativa, limitándose a la retirada de residuos del pre-tratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca.
- Inexistencia de averías, al carecer de equipos mecánicos.
- El sistema puede operar sin ningún coste energético.
- Sistemas flexibles y poco susceptibles a cambios en caudales y carga.

- La biomasa vegetal actúa como aislante del sedimento, lo que asegura la actividad microbiana todo el año.
- No se generan olores.

Entre las desventajas tenemos:

- Exigencia de mayor superficie de terreno para su implantación que las Tecnologías Convencionales de depuración (unos 5 m²/h.e.).
- Generación de lodos en el tratamiento primario, si bien, se emplean Tanques Imhoff o Fosas Sépticas, la retirada de estos lodos se espacia en el tiempo.
- Necesidad de 2 ó 3 estaciones de crecimiento de las plantas para alcanzar máximos rendimientos.
- Pérdidas de caudal por evapo-transpiración, con aumento de la salinidad en los efluentes depurados.
- En los Humedales Artificiales de Flujo Libre, al circular el agua por encima de la superficie del sustrato, se produce la proliferación de mosquitos.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Conceptos básicos del metabolismo de los microorganismos.

El objetivo del tratamiento biológico de las aguas residuales es estabilizar la materia orgánica. En algunos casos se aplica también a la remoción de nutrientes.

Los procesos biológicos se realizan principalmente por bacterias que utilizan las aguas residuales para convertir la materia orgánica coloidal o disuelta contenida en ellas, en energía.

Los microorganismos para reproducirse y funcionar adecuadamente requieren fuentes de energía, de carbono, y de elementos orgánicos (nutrientes). El dióxido de carbono (CO_2) y la materia orgánica son las fuentes de carbono necesarias para formar nuevas células.

2.2.Descripción del Proceso de Tratamiento en Lagunas de Estabilización.

Con las definiciones y conceptos básicos del metabolismo de los microorganismos presentados anteriormente es posible describir el funcionamiento de cada tipo de laguna, retomando la clasificación con base en el mecanismo respiratorio que predomina: aerobio, anaerobio, facultativo y maduración.

2.2.1. Lagunas de estabilización aerobias.

Son grandes depósitos de poca profundidad donde los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aerobias.

El oxígeno es suministrado en forma natural por la aireación de la superficie artificial, por la fotosíntesis de las algas, o por dispositivos mecánicos.

Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno para mantener las condiciones aerobias y, los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias.

El oxígeno liberado por las algas es utilizado por las bacterias en la degradación de la materia orgánica.

El dióxido de carbono y los nutrientes liberados por las bacterias es a su vez utilizado por las algas para la fotosíntesis (Figura 2.1.).

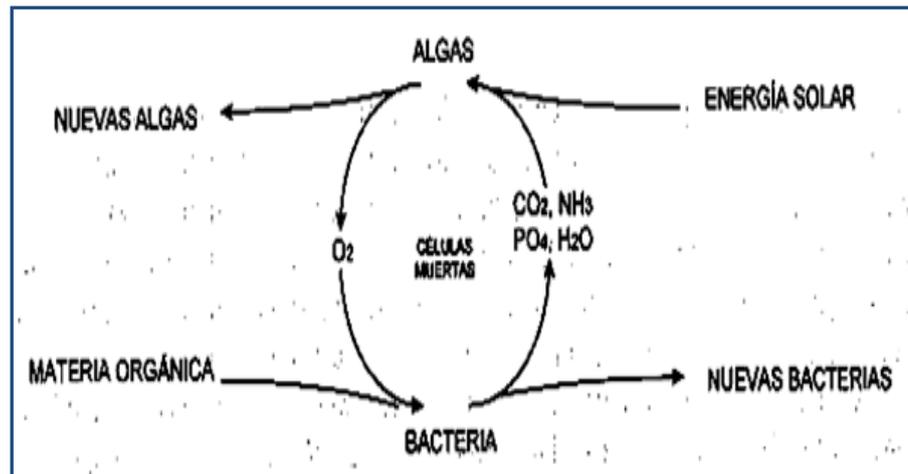


Figura 2.1. Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

2.2.2. Lagunas de estabilización anaerobias.

Las lagunas anaerobias son profundas y mantienen condiciones anóxicas y anaerobias en todo el espesor de la misma.

La zona superior tiene una influencia insignificante en la dinámica microbiana del medio acuático.

Normalmente, el efluente de estas lagunas es descargado a otra unidad para complementar el proceso de tratamiento y

oxigenar el efluente. La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante un proceso combinado de sedimentación y de conversión biológica de los desechos orgánicos en gases (CH_4 , CO_2 y H_2S).

En la figura 2.2. se presenta el esquema básico de operación de una laguna anaerobia.

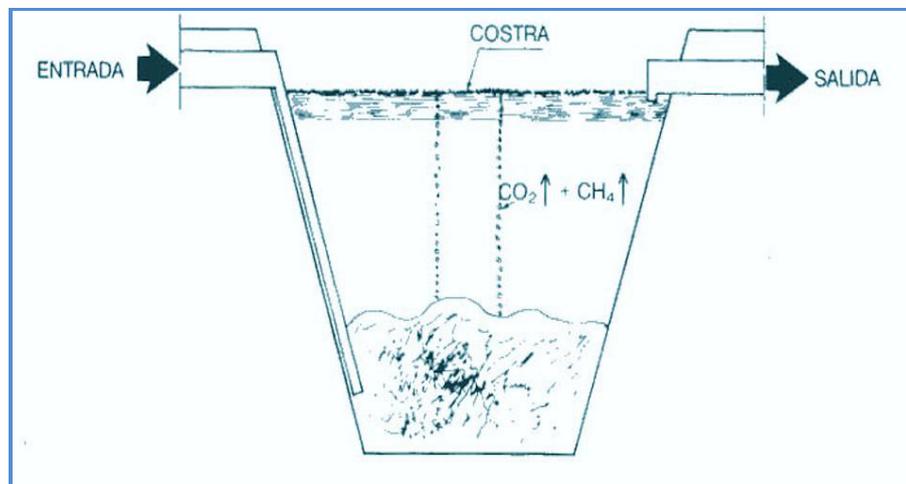


Figura 2.2. Esquema básico de operación de una laguna anaerobia.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

2.2.3. Lagunas de estabilización facultativas.

Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos fermentativamente. Y por

último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (Figura 2.3.).

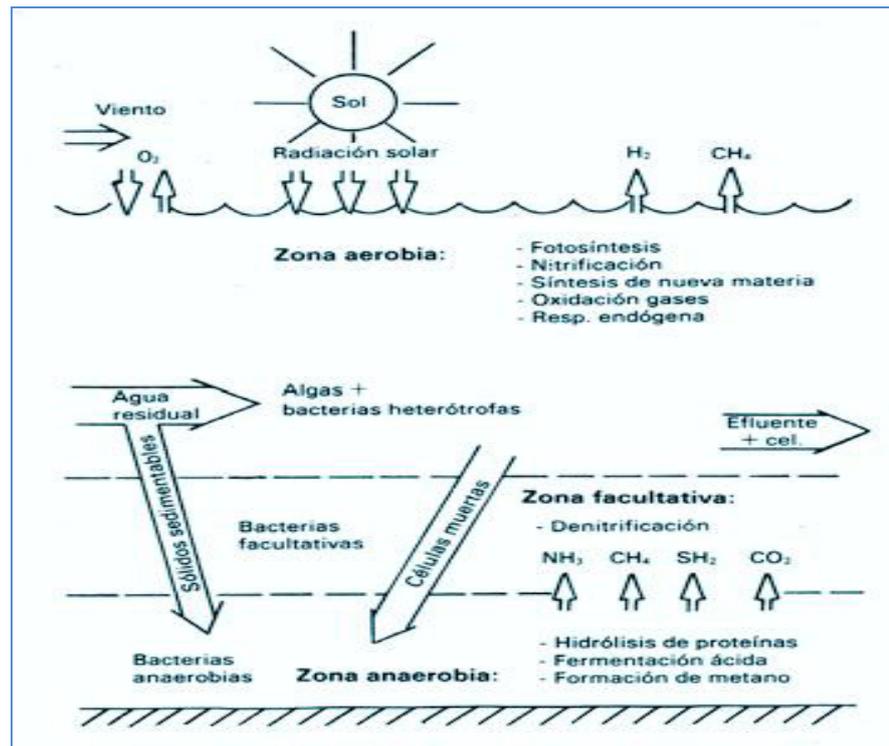


Figura 2.3. Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativas.

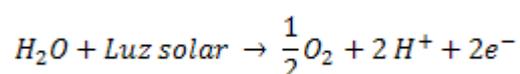
Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

La materia orgánica soluble y coloidal es oxidada por organismos aerobios y facultativos utilizando el oxígeno producido por las algas que crecen abundantemente en la parte superior de la laguna.

El dióxido de carbono producido sirve de fuente de carbono para las algas. Los sólidos presentes en el agua residual tienden a sedimentarse y acumularse en el fondo de la laguna donde se forma un estrato de lodo anaerobio.

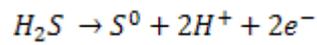
La descomposición anaerobia de la materia orgánica que se realiza en el fondo de la laguna resulta en una producción de compuestos orgánicos disueltos y gases tales como el dióxido de carbono (CO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el metano (CH₄), que son oxidados por las bacterias aerobias, o bien, liberados a la atmósfera.

En la fotosíntesis oxigénica, que llevan a cabo las plantas verdes, las algas y las cianobacterias, el agua es quien proporciona los electrones produciéndose oxígeno como subproducto principal del proceso, de acuerdo con la reacción:

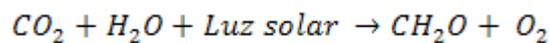


En la fotosíntesis anoxigénica, realizada principalmente por bacterias anaerobias estrictas, quienes actúan como donadores de electrones son compuestos inorgánicos reducidos, no generándose, en este caso, oxígeno como subproducto del proceso.

Ciertas bacterias fotosintéticas emplean como donadores de electrones, compuestos reducidos del azufre, de acuerdo con la expresión:

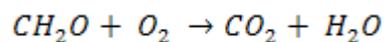


El dióxido de carbono, generado en la oxidación de la materia orgánica por las bacterias, es convertido en azúcares por las microalgas de acuerdo con:



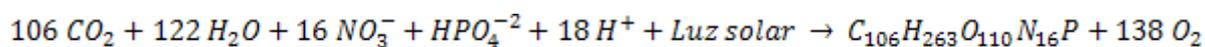
Las microalgas constituyen la principal fuente de oxígeno en las lagunas fotosintéticas durante el día, llegándose a alcanzar condiciones de sobresaturación de oxígeno disuelto.

Durante la noche, el cese de la actividad fotosintética y las reacciones de respiración provocan fuertes descensos del contenido de oxígeno disuelto, que llega a presentar concentraciones mínimas:



La presencia en las aguas de las lagunas de carbono inorgánico, nitrógeno y fósforo permite el crecimiento de las microalgas.

Este fenómeno puede representarse mediante la ecuación de Stumm (1970):



La variación diaria de la actividad fotosintética en las lagunas, tiene su repercusión directa en el contenido de oxígeno disuelto y en el pH de las mismas.

2.2.4. Lagunas de pulimento o maduración.

Estas lagunas se utilizan después de otros procesos con dos fines: mejorar la calidad del agua tratada, o bien, reducir la cantidad de microorganismos patógenos.

Los procesos biológicos que se realizan en las lagunas de maduración son similares a los de las lagunas aerobias, aunque la fuente de carbono proviene principalmente de las bacterias formadas en las etapas previas del tratamiento. El nitrógeno amoniacal es convertido a nitritos, para luego oxidarse a nitratos mediante el oxígeno presente en la laguna por fotosíntesis de las algas y por re-aeración natural.

La muerte de las bacterias en las lagunas de pulimento depende de varios factores ambientales y climatológicos.

Los principales son: pH alto, producción por algas de compuestos tóxicos extracelulares, agotamiento de nutrientes y exposición al sol (en especial a la luz ultravioleta). Además se debe considerar el tiempo de retención de la laguna.

En consecuencia, una mayor exposición a la luz solar y el incremento en la concentración de algas implica un aumento en la tasa de remoción de las bacterias fecales y de patógenos.

2.3. Factores que modifican el funcionamiento y diseño de las Lagunas de Estabilización.

El tipo de comunidad biológica que se desarrolla en las lagunas y, por lo mismo, la eficiencia del tratamiento depende de múltiples factores como:

- ✓ Calidad del agua a tratar
- ✓ Aspectos físicos
 - Intensidad de la luz solar
 - Viento
 - Nubosidad
 - Precipitación pluvial
 - Infiltración y evaporación
 - Temperatura

- ✓ Aspectos químicos
 - Material disuelto y suspendido
 - Oxígeno disuelto
 - Dióxido de Carbono y pH
 - Fósforo
 - Nitrógeno

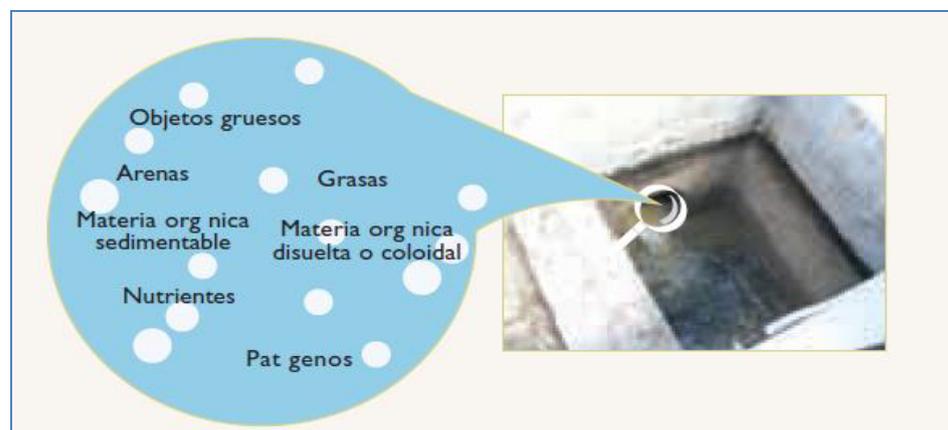


Figura 2.4. Componentes de las aguas residuales urbanas

Fuente: Los autores ICREW. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población. [4]

2.3.1. Calidad de agua a tratar.

Las lagunas se utilizan principalmente para dar tratamiento a aguas residuales domésticas. En este sentido los contaminantes que se desea remover son: la materia orgánica biodegradable, los sólidos suspendidos y los microorganismos patógenos.

El balance de nutrientes diferente al requerido (DBO₅: N: P de 100: 5: 1) llega a reducir la eficiencia del tratamiento o inhibir el crecimiento de microorganismos, especialmente de las algas y aumentan el riesgo de anaerobiosis² en las lagunas facultativas. Esta situación se puede remediar alimentando descargas con elevado contenido de nutrientes, ó bien, adicionando fertilizantes o estiércol.

2.3.2. Aspectos físicos.

La producción de algas y microorganismos de una laguna a otra varía considerablemente en la literatura técnica, reflejando la influencia de las condiciones ambientales (Delaunoy, 1982).

Entre ellos destacan el clima, la intensidad de la luz solar, la latitud, la nubosidad, la precipitación pluvial y la temperatura.

2.3.2.1. Intensidad de la luz solar.

La luz solar constituye una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna, esta luz que llega a la

² Capacidad que poseen algunos organismos, como hongos, bacterias, parásitos, etc., para vivir sin oxígeno molecular libre.

laguna es función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo de cuerpo de agua.

Aunque toda la luz incide en la superficie, sólo una parte de ella penetra en el agua y otra es reflejada a la atmósfera. La parte que no es reflejada se dispersa en el agua y puede salir nuevamente fuera del agua o ser absorbida por algún material. La penetración de la luz depende de la composición del agua y la cantidad de material suspendido o disuelto.

La fotosíntesis y por lo tanto, la luz solar son relevantes para las lagunas aerobias y facultativas ya que, como se mencionó, la oxigenación suministrada por las algas es mayor que la aeración natural. De aquí, la importancia de conservar libre de sombras la laguna y de no hacerlas muy profundas.

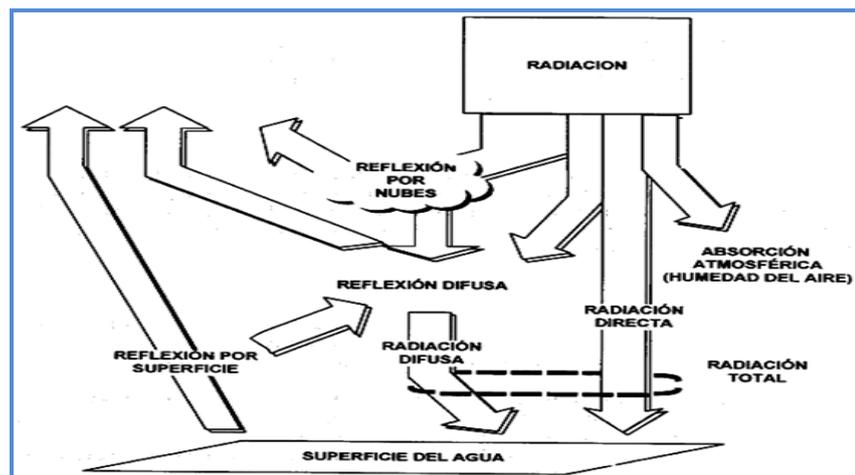


Figura 2.5. Dispersión de luz en un cuerpo de agua.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

2.3.2.2. Viento.

El viento interviene en el proceso de autodepuración en las lagunas al provocar una mezcla y generar corrientes verticales del agua. Así, el oxígeno disuelto presente en la superficie es llevado a las capas más profundas.

También, la dispersión del agua residual y de los microorganismos en toda la laguna ocurre por el mismo efecto. El viento ayuda al movimiento de las algas, principalmente de aquellas que son consideradas como grandes productoras de oxígeno como son algas verdes del género *Chlorella*³.

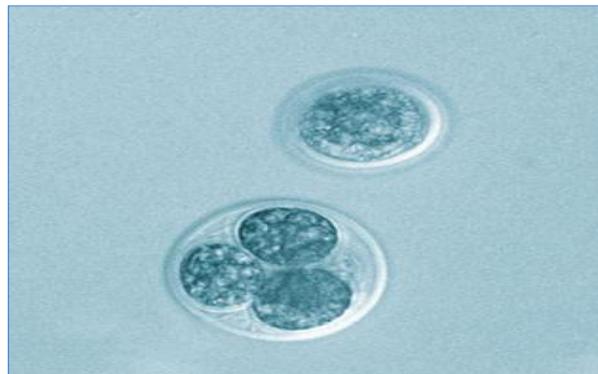


Figura 2.6. *Chlorella* sp.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

³ *Chlorella* es un género de algas verdes unicelulares del Filo Chlorophyta. De forma esférica, cerca de 2-10 μm de diámetro, sin flagelo.

2.3.2.3. Nubosidad.

Las nubes son un agente importante para la dispersión y reflexión de la energía solar, capaces de reducir la radiación directa en un 80 a 90%.

Esta reducción varía en función de la distribución, tipos de nubes, la cantidad de absorción, la dispersión atmosférica y de la distancia efectiva (espesor y contenido atmosférico).

2.3.2.4. Precipitación pluvial.

Las precipitaciones pluviales tienen una influencia importante en el funcionamiento del proceso. Con lluvia continua el tiempo de retención hidráulica se reduce mientras que lluvias intensas diluyen el contenido de materia orgánica a la laguna y acarrear material orgánico y mineral por medio del escurrimiento.

2.3.2.5. Infiltración y Evaporación.

La infiltración y evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. Ambos factores están íntimamente ligados con las condiciones climáticas y geológicas locales, en especial con la temperatura, el viento, la humedad del aire y el tipo de suelo.

Uno de los factores por cuidar durante la operación es el mantener un nivel constante del líquido y que el espesor del agua sea casi el mismo en cualquier sitio de la laguna. La pérdida de agua provocada por la evaporación, trae como consecuencia la concentración de sustancias contaminantes y aumenta la salinidad del medio. Ambos efectos resultan perjudiciales para algunos microorganismos y, en consecuencia, para el equilibrio biológico de la laguna.

2.3.2.6. Temperatura.

La mayoría de las bacterias trabajan en el intervalo de temperatura mesófilo⁴ por lo que las altas temperaturas no son problema. El incremento por arriba de 25°C acelera los procesos de biodegradación.

La producción óptima de oxígeno se obtiene a los 20 °C, los valores límites son 4 °C y 35 °C. En efecto a partir de 3 °C la actividad fotosintética de las algas decrece y las lagunas se tornan más sensibles a choques hidráulicos o a rápidos aumentos en la carga orgánica, que trae como consecuencia una menor eficiencia de la remoción de la DBO₅.

⁴ Temperatura óptima de crecimiento comprendida entre 20°C y 45°C.

En cuanto a la fermentación anaerobia, ésta se origina después de los 22 °C y decrece a casi nada por debajo de los 15 °C.

2.3.3. Aspectos químicos.

2.3.3.1. Material disuelto y suspendido.

Los compuestos se pueden encontrar en forma disuelta o suspendida. El material suspendido tiende a sedimentar generando una acumulación en el fondo, el cual con los movimientos del agua pueden re-suspenderse y descomponerse biológicamente al mezclarse.

2.3.3.2. Oxígeno Disuelto.

El oxígeno disuelto, fundamental para la realización del proceso aerobio, varía en función del día y la profundidad.

Durante la noche, las corrientes térmicas mezclan las capas estratificadas lo que garantiza una producción constante de oxígeno durante las mañanas.

Para que se lleve a cabo una adecuada estabilización se requiere valores de oxígeno disuelto comprendidos entre el valor de saturación del 60% y un mínimo de 2 mg/l.

En algunos casos se tienen valores muy por arriba de la saturación en la capa superior de la laguna debido a la gran actividad fotosintética de las algas.

La saturación por oxígeno se obtiene alrededor de 4 horas antes de la aparición del sol y se mantiene durante todo el período de insolación.

2.3.3.3. Dióxido de Carbono y pH.

El dióxido de carbono (CO_2) es altamente soluble y forma ácido carbónico el cual se disocia y libera iones hidronio. En sistemas donde los carbonatos son abundantes, el pH es relativamente constante. Cuando las sales disueltas en el agua son pobres en carbonatos, la actividad biológica ocasiona grandes cambios de pH.

Durante las primeras horas del día, los valores de pH son bajos (menores de 7) debido al exceso de CO_2 producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche.

Pasado el medio día, el pH se eleva ya que las algas se encuentran en plena actividad fotosintética. Durante la noche el pH vuelve a declinar por que las algas dejan de consumir

CO₂ y porque continúa la producción de CO₂ por la respiración de las bacterias.

2.3.3.4. Fósforo.

El fósforo está presente como ión fosfato o en complejos orgánicos. Algunos fosfatos son altamente solubles en agua, en particular, cuando el oxígeno está presente.

El fósforo es un nutriente limitante y su adición ayuda a mejorar los problemas ocasionados por una baja biodegradación. En la figura 2.7. se muestra el ciclo del fósforo a las diferentes condiciones de operación.

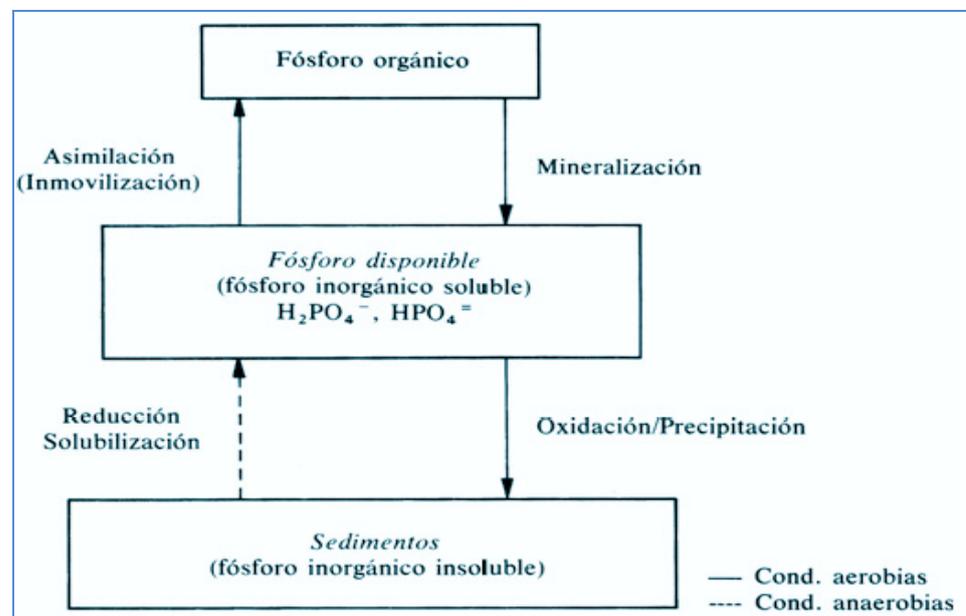


Figura 2.7. Ciclo del fósforo

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

2.3.3.5. Nitrógeno.

El nitrógeno está presente como $N-N_2$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$ y en diversas formas orgánicas. Proviene de la precipitación, el suelo y el agua residual misma, pero su disponibilidad está regulada por los procesos biológicos.

El nitrógeno debe estar disponible en relación con la materia orgánica para no volverse un limitante del crecimiento.

En la figura 2.8. se muestra el Ciclo del nitrógeno a las diferentes procesos de nitrificación y desnitrificación.

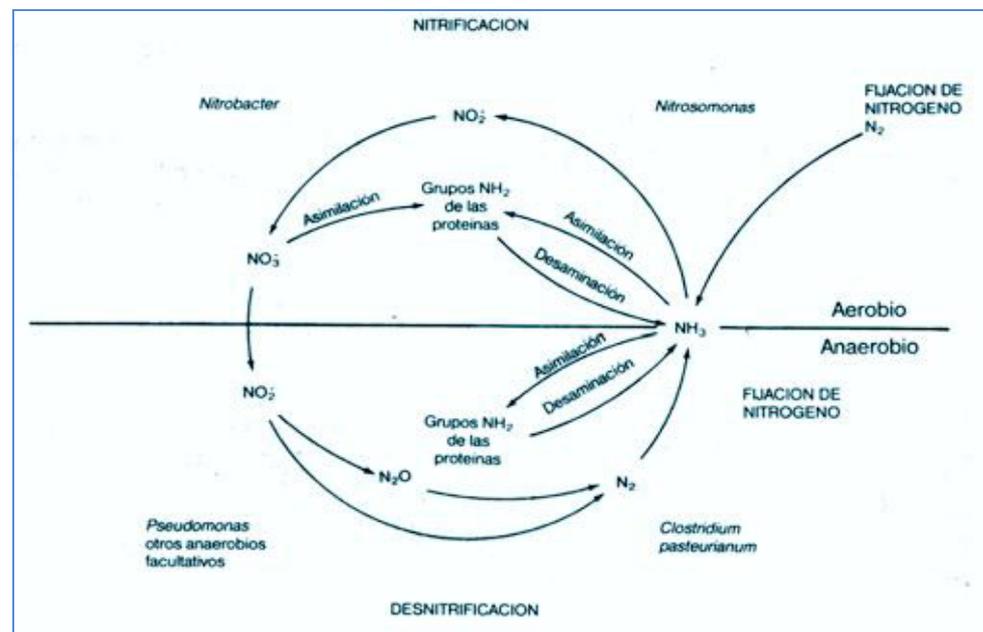


Figura 2.8. Ciclo del nitrógeno

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

La recopilación de datos y muestras para la caracterización y análisis de los parámetros y factores que influyen en el diseño conceptual del Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el núcleo de tecnologías, serán tomados de la caja receptora ubicada en el área otorgada en tecnologías para el proyecto.

La recopilación de los datos climatológicos (precipitaciones, viento y temperatura del aire), serán tomados de fuentes meteorológicas.

3.1. Caracterización de las aguas.

Las aguas residuales urbanas se caracterizan por su composición física, química y biológica, apareciendo una interrelación entre muchos de los parámetros que integran dicha composición. A la hora de realizar una adecuada gestión de dichas aguas, se hace imprescindible el disponer de una información lo más detallada posible sobre su naturaleza y características [4].

3.1.2. Toma y conservación de muestras.

3.1.1.1. Precauciones Generales.

La obtención de una muestra que cumpla con los requisitos del programa de toma y manipulación implica que no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. La toma debe realizarse con cuidado, al objeto de garantizar que el resultado analítico represente la composición real. [5]

3.1.1.2. Consideraciones sobre seguridad.

Las precauciones pueden limitarse a llevar unos guantes o a proveerse de mandiles u otros sistemas de protección. La toma de la muestra sólo se realizará en lugares bien ventilados.

3.1.1.3. Toma de muestras.

1. Procedimientos de cadena de vigilancia:

Es esencial asegurar la integridad de la muestra desde su toma hasta la emisión del informe. Este proceso se denomina proceso de vigilancia, que es útil para el control rutinario de la trayectoria de la muestra.

Los principales aspectos de la cadena de vigilancia son:

- Etiquetado de la muestra
- Sellado de la muestra

2. Métodos de toma de muestra:

En la toma manual se supone que no se utiliza equipo alguno, pero éste procedimiento puede resultar demasiado costoso en tiempo y dinero para programas de toma rutinaria de muestras o a gran escala.

3. Envases de las muestras:

El tipo de envase que se utilice tiene una importancia capital. En general, los envases están hechos de plástico o vidrio, y según los casos puede resultar preferible uno u otro de éstos materiales.

Las muestras se tomarán en la caja receptora de las aguas proveniente del núcleo de Tecnologías, utilizando el material y equipos necesarios, a diferentes horas (muestreo compuesto).



Figura 3.1. Caja receptora de aguas residuales del área de Tecnologías

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Para el levantamiento de datos se debe considerar al menos 6 análisis para determinar la tendencia de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Como se mencionó anteriormente, los muestreos se realizarán a distintas horas del día, con el fin de obtener una muestra compuesta (homogénea).

A continuación se presenta la tabla 3.1. de los días de muestreos considerando la toma de las mismas de 8:00 am – 14:00 pm.

Muestreos	Fechas
1er muestreo	10 de enero de 2011
2do muestreo	21 de febrero de 2011
3er muestreo	16 de marzo de 2011
4to muestreo	31 de mayo de 2011
5to muestreo	24 de junio de 2011
6to muestreo	8 de julio de 2011

Tabla 3.1. Fechas de muestreos.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

3.1.1.4. Conservación de muestras.

Con independencia del tipo de muestras de que se trate, nunca puede conseguirse la estabilidad completa de todos sus componentes. En el mejor de los casos, las técnicas de conservación solo retrasarían los cambios químicos y

biológicos que inevitablemente se producen después de la toma.

Algunos análisis pueden verse afectados con mayor facilidad que otros por los efectos de la conservación de la muestra.

Para determinados componentes y valores físicos es necesario proceder a un análisis inmediato sobre el terreno (pH, conductividad, Oxígeno Disuelto, etc.).

Cuando el intervalo entre la toma y el análisis es lo suficientemente largo como para producir cambios en la concentración o en el estado físico de los componentes a medir, se seguirán las instrucciones de conservación que se ofrecen en la tabla 1060:I (Anexo 1). Se registrará el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis y, en el caso de que se haya añadido algún conservante, se identificará éste [5].

La planificación del análisis de los parámetros se lo realizó de acuerdo a los parámetros que necesitan ser medidos en el sitio, los parámetros que son medidos en el laboratorio inmediatamente, y los que necesitan ser conservados con algún ácido para que puedan ser medidos en los días siguientes.

En la siguiente tabla 3.2. se presenta el orden de análisis de los parámetros de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

Parámetros	Método	Observaciones para conservación
pH	4500 H-B	In situ
Conductividad	2510-B	In situ
Oxígeno Disuelto	4500 O-G	In situ
DBO ₅	5210-B	6 – 48 horas
Turbiedad	2130-B	24 – 48 horas
Nitritos	4500 NO ₂ -B	24 – 48 horas
Coliformes Totales	9221-B	24 horas (Refrigerar)
Coliformes Fecales	9221-C	24 horas (Refrigerar)
Sólidos Sedimentables	2540-F	24 horas (Refrigerar)
Fosfatos	4500 P-E	48 horas (Refrigerar)
Nitratos	4500 NO ₃ -B	48 horas (Refrigerar)
Sólidos Totales	2540-B	7 días (Refrigerar)
Sólidos Disueltos	2540-C	7 días (Refrigerar)
Sólidos Suspendidos	2540-D	7 días (Refrigerar)
DQO	5220-D	7 – 28 días (H ₂ SO ₄)
Amonio	4500 NH ₃ -C	7 – 28 días (H ₂ SO ₄)

Tabla 3.2. Orden y conservación de las muestras para los análisis.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. / Standard Methods APHA-AWWA-WPCF edition 21

3.1.3. Tipos de análisis

3.1.2.1. Medición de caudal y temperatura del agua.

A la hora de abordar el diseño conceptual de la instalación de depuración de aguas residuales del área de tecnologías de la ESPOL, donde se incluirán

los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas, la primera fase consistirá en conocer la temperatura, el volumen, composición de las aguas a tratar y el régimen de caudales.

El caudal de agua a tratar corresponde al volumen de agua que llega a la estación depuradora por unidad de tiempo. Los caudales que llegan a las estaciones depuradoras siguen una variación diaria que es fiel reflejo de las actividades desarrolladas en la zona.

Es importante conocer los valores máximos ($Q_{m\acute{a}x}$), mínimos ($Q_{m\acute{i}n}$), medios (Q_{med}) y el factor de punta (F_p) de dichos caudales. El caudal medio (Q_{med}) vendrá definido por:

$$Q_{medio} (m^3/h) = \frac{\sum Q}{24}$$

El caudal máximo, se puede determinar a partir de una serie de fórmulas matemáticas de tipo empírico, siendo una de las más utilizadas:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_{medio} \times \left(1.15 + \frac{2.575}{Q_{medio}^{0.25}} \right)$$

La relación entre el caudal máximo y el medio se define como F_p , de la forma:

$$F_p = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{medio}}$$

En este tipo de aguas, la relación entre el caudal máximo y el medio, varía entre 1,5 y 2,5.

3.1.2.2. Parámetros físico-químicos.

➤ *pH*: La medida de pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes y utilizadas en el análisis químico del agua. (véase determinación de pH- Anexo 2)

➤ *Conductividad*: La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. (véase determinación de conductividad - Anexo 3)

➤ *Oxígeno disuelto*: Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis del OD es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales. Este parámetro se ve influenciado principalmente por la temperatura. (véase determinación de oxígeno disuelto – Anexo 4)

➤ *Turbiedad*: La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla o materias orgánicas e

inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles y otros microorganismos. (véase determinación de turbiedad – Anexo 5)

➤ *DBO₅*: La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno es una prueba empírica que mide el oxígeno utilizado durante un período de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica, y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica. (véase determinación de *DBO₅* – Anexo 6)

➤ *DQO*: La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno (mg O₂/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas. (véase determinación de *DQO* – Anexo 7)

La relación *DBO₅/DQO* es un factor importante, que indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas, entendiéndose por biodegradabilidad, la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular), y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.

<i>DBO₅/DQO</i>	<i>Biodegradabilidad del agua residual</i>
0.4	Alta
0.2-0.4	Normal
0.2	Baja

Tabla 3.3. Biodegradabilidad del agua

Fuente: Los autores ICREW. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población. [4]

➤ **Nitrógeno:** Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico.

- El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos.
- El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno.
- El amoníaco se encuentra de forma natural en las aguas superficiales y residuales. (véase determinación de nitrato, nitrito y amonio – Anexo 8, 9 y 10)

➤ **Fósforo:** En las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Para su determinación se emplean métodos espectrofotométricos. (véase determinación de fosfatos – Anexo 11)

➤ **Sólidos:** Los sólidos totales incluyen a los Sólidos Suspendedos y a los Sólidos Disueltos. Los sólidos

sedimentables se refieren al material que se desprende de la suspensión en un periodo determinado de tiempo. (véase determinación de Sólidos totales, disueltos, suspendidos y sedimentables – Anexos 12, 13, 14 y 15)

3.1.2.3. Parámetros microbiológicos.

- *Coliformes*: Para el análisis de los componentes patógenos se tiene en cuenta los coliformes totales y fecales por Número más probable (NMP). (véase determinación de Coliformes Totales y Fecales – Anexos 16)

En la siguiente tabla 3.4. se detallan los equipos utilizados para la medición y análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Parámetros	Equipos / Técnica	Imagen
pH Conductividad OD	Multiparámetro	
Turbiedad	Turbidímetro	

DBO ₅	Incubadora 20 °C / Manómetro	
DQO	Digestor / Espectrofotómetro	
Sólidos	Equipo de filtración / Conos Imhoff / Estufas (104 °C - 180 °C)	
Amonio Nitratos Nitritos Fosfatos	Espectrofotómetro	
Coliformes Totales y Fecales	Tubos/Caldos/Campanas Durham/Incubadoras (37 °C - 44.5 °C)	

Tabla 3.4. Parámetros, Técnica y Equipos de análisis.

Fuente: Álava Á., Cuenca I

3.2. Simulador y Programas para el diseño final.

3.2.1. Simulador Microsoft Office Excel 2010.

Excel es un software matemático donde se presenta todas las ecuaciones que se necesitan para la resolución de diversos sistemas a manera de hojas de cálculo.

Primero se debe realizar un modelo matemático del problema, luego se define un sistema de ecuaciones, y finalmente, utilizando el software, se resolverá y facilitará de forma eficiente los cálculos.

3.2.2. Programa Microsoft Office Visio Professional 2010.

Esta herramienta de diagramación avanzada permite simplificar las tareas complejas con elementos visuales dinámicos basados en datos.

El uso de plantillas y herramientas de dibujo inteligentes, facilitan cada paso de la creación de diagramas y planos.

Para el proyecto se requiere una perspectiva de alto nivel y datos detallados, permitiendo ver el panorama completo del sistema de tratamiento de aguas para el núcleo de tecnologías, a través de la exposición gráfica de información y datos significativos en un único diagrama.

3.2.3. Programa Autocad 2010.

AutoCAD es un programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones.

Este programa tiene grandes características gestionando una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se muestran éstas, a través de comandos, también está orientado a la producción de planos, utilizando el concepto de *espacio modelo* y *espacio papel* para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala.

CAPÍTULO 4

4. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DEL PROYECTO.

Un factor determinante en la localización de las lagunas es la disponibilidad y características del terreno.

El proyecto está localizado en la provincia del Guayas, Cantón Guayaquil, km 30.5 vía Perimetral, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), específicamente en el área de Tecnologías a 100 m de la vía principal. Teniendo como coordenadas:

S (latitud) = $02^{\circ}09,023'$

W (longitud) = $079^{\circ}57,404'$

Se cuenta con un área disponible de aproximadamente 12000 m^2 para la construcción del Sistema de Tratamiento de las aguas de descarga.

Estos requerimientos deben combinarse con las propiedades del sitio:

- ✓ Levantamiento topográfico.
- ✓ Prospección geoeléctrica.
- ✓ Estudios de Impacto Ambiental.

El Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra (CIPAT) estuvo encargado del estudio geofísico y topográfico del área de Tecnologías de la ESPOL. Anexo 17.

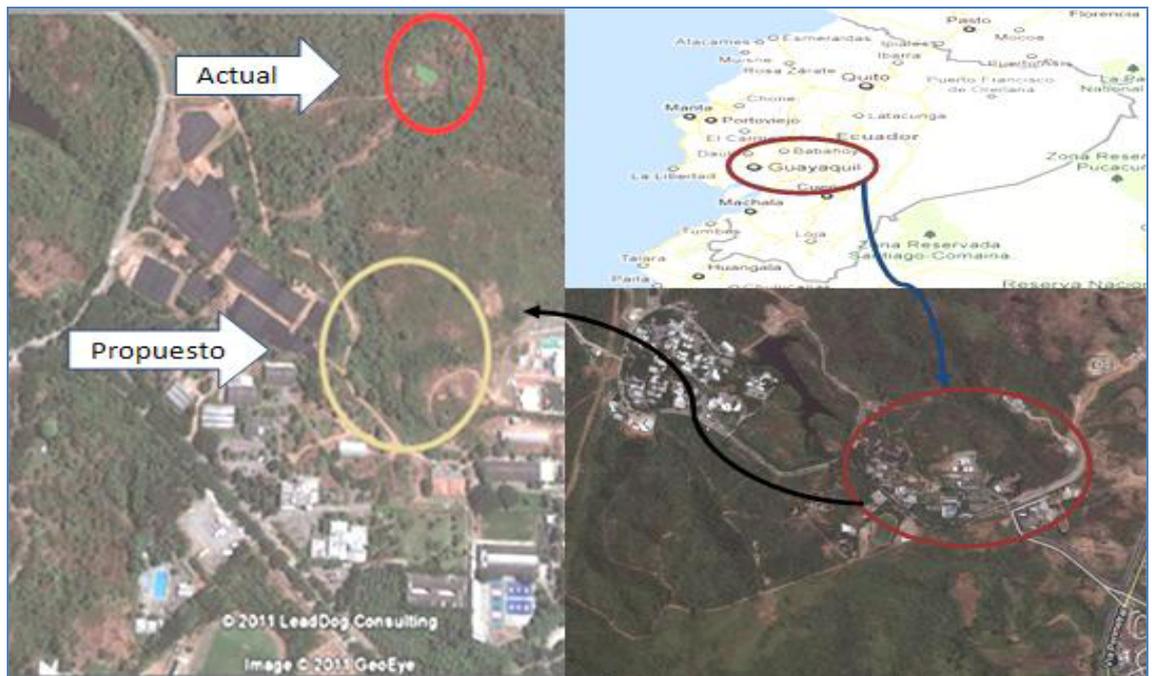


Figura 4.1. Vista Satelital del terreno en tecnologías de la ESPOL.

Fuente: Google Earth

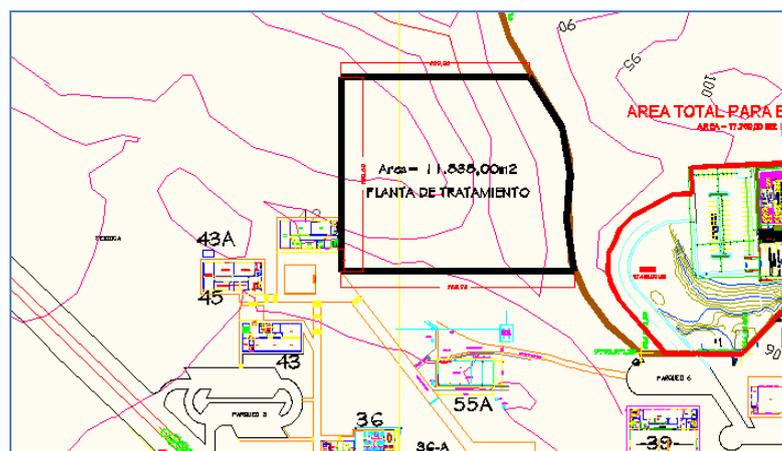


Figura 4.2. Vista de Planta del terreno entregado para el Proyecto

Fuente: Departamento de Planificación de la ESPOL

4.1. Levantamiento topográfico.

Se debe realizar un levantamiento topográfico mediante el cual se comprobará el desnivel existente que servirá como insumo al proyecto para la evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas del área de tecnologías de la ESPOL.



Figura 4.3. Equipo utilizado en el estudio topográfico (Teodolito)

Fuente: CIPAT (Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra)

Mediante el estudio se determinó la profundidad en el centro del área de estudio, siendo ésta de 4,6 m, con respecto a la carretera, lo que permite realizar la planificación de trabajos en función de la profundidad deseada para el proyecto.

A continuación se presenta el mapa topográfico (Figura 4.4.) y la representación de perfiles (Figura 4.5.) entregadas por el CIPAT.

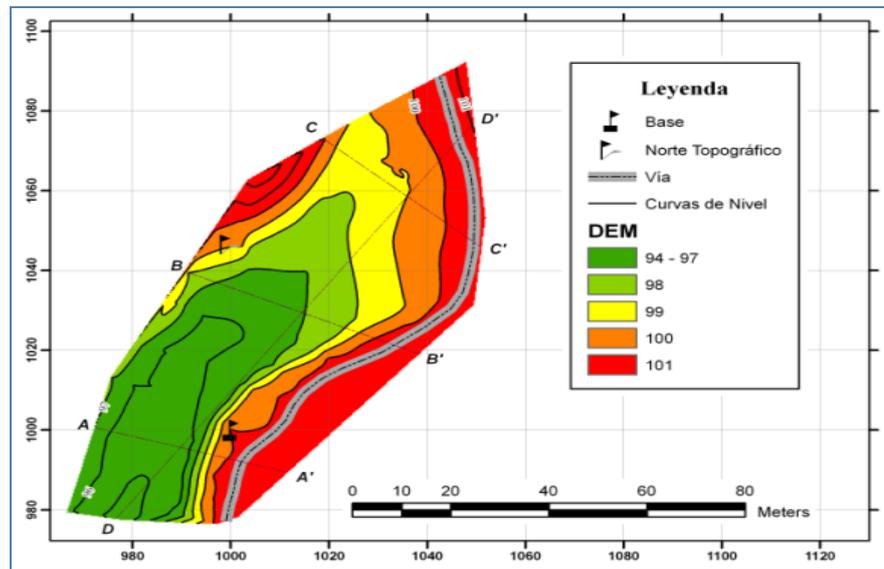


Figura 4.4. Mapa topográfico.

Fuente: CIPAT (Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra)

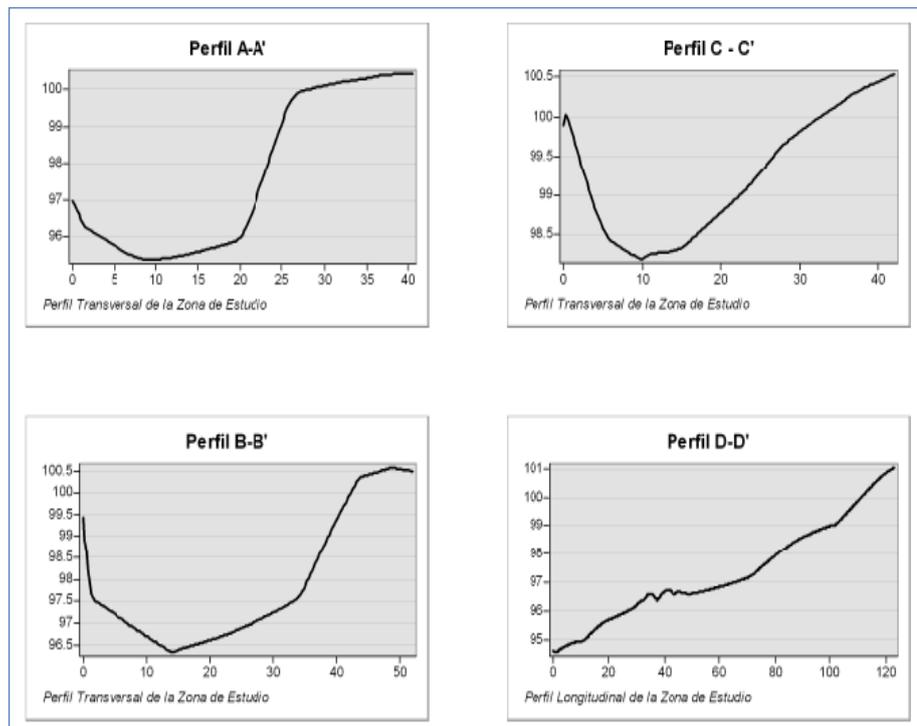


Figura 4.5. Representación de perfiles.

Fuente: CIPAT (Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra)

4.2. Prospección geoelectrica.

Mediante este estudio se busca estudiar las características geológicas del área de estudio a fin de estimar la permeabilidad del terreno.

Para determinar tales niveles subterráneos se debe utilizar el equipo adecuado que permita estudiar la geofísica del terreno.



Figura 4.6. Resistivímetro terrameter, utilizado para estudio geoelectrico.

Fuente: CIPAT (Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra)

Se estudió las características geológicas del área del proyecto a fin de estimar la permeabilidad del terreno mediante la prospección geoelectrica.

El resultado tal como se indica en la figura 4.7. (Interpretación del SEV) determina que es necesario tomar medidas de extrema precaución puesto de que se trata de un material con una

permeabilidad media y existe el riesgo de contaminar el suelo, e incluso llegar a alcanzar reservas subterráneas de agua.

- 0-50 cm se muestra una capa de relleno formado por material pétreo en una matriz areno-arcillosa.
- 1-5 m se encuentra un material de mezcla, compuesto por una matriz areno-arcillosa y bloques grandes de roca.
- 5-17 m se encuentra una capa de roca meteorizada.
- 17 metros en adelante baja la resistencia y es indicativo de zonas de fracturas con relleno de material fino.

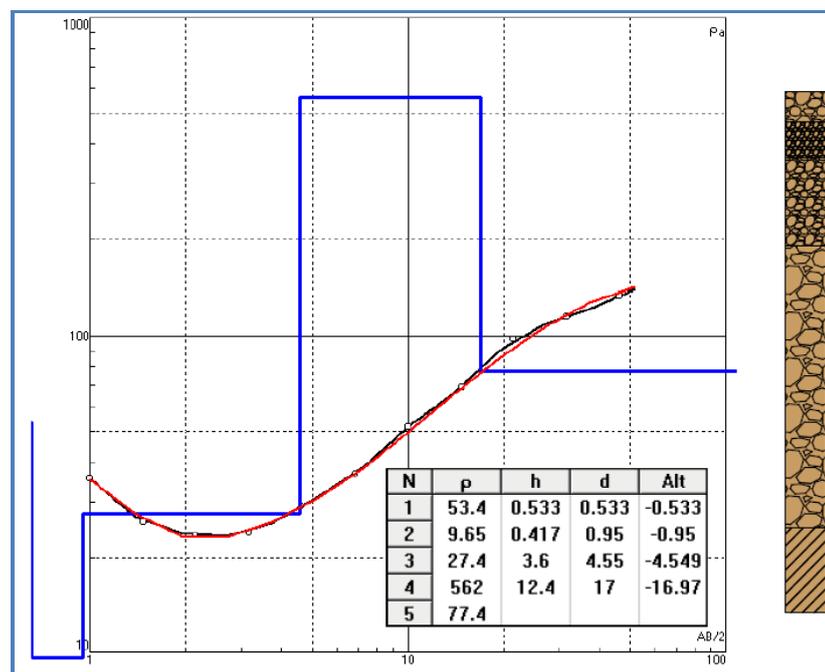


Figura 4.7. Curva de interpretación del SEV y Modelo de perfil.

Fuente: CIPAT (Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a la Ciencia de la Tierra)

4.3. Estudio de Impacto Ambiental.

Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental inicial, para identificar y evaluar los riesgos que podrían ocasionar las lagunas de oxidación.

Este estudio permite establecer la línea base ambiental, y determinar los posibles impactos que puedan manifestarse en las diferentes etapas del proyecto, con el fin de determinar medidas de prevención.

Después del EIA (Estudio de Impacto Ambiental) se deberá realizar una Auditoría Ambiental cada dos años, para verificar si el sistema de tratamiento está actuando de manera eficiente, y tomar medidas correctivas inmediatamente si fuera necesario.

Además de un Plan de Manejo Ambiental para evitar cualquier daño al ambiente, así como un impacto severo al medio ambiente.

CAPÍTULO 5

5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

5.1. Condiciones ambientales.

Para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales, y tomando como referencia el capítulo 2, es importante disponer de datos referenciales de las condiciones ambientales del sector donde se desea desarrollar el proyecto, a fin de establecer las consideraciones pertinentes para la evaluación y diseño del Sistema de Tratamiento.

El levantamiento de los datos climáticos de la ciudad de Guayaquil, se obtuvo del centro meteorológico del Aeropuerto José Joaquín de Olmedo durante un periodo de 16 meses (Tabla 5.1.), con la ayuda de una página de internet (Metar) y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Esto permitirá establecer las tendencias climatológicas, por las que se vería afectada el funcionamiento de la Planta, y tomar medidas precautelares ante situaciones de fenómenos climáticos. Entre los que destacan fenómeno del niño, precipitaciones pluviales en los meses de enero a abril, descenso de temperatura de agosto a diciembre. Por tanto, es importante tener en cuenta estas consideraciones al momento de diseñar las lagunas, esto se logra teniendo en cuenta un factor de seguridad, que para nuestro proyecto el factor a utilizarse es de 1,25.

Año: 2010	Temperatura Media (°C)	Precipitaciones (mm)	Velocidad de viento (km/h)
Abril	27,6	154,4	7,41
Mayo	26,8	0	8,67
Junio	25,2	0	10,16
Julio	24,7	0	11,41
Agosto	24,0	0	12,83
Septiembre	24,4	0	12,78
Octubre	24,4	0	12,88
Noviembre	24,0	1,0	11,81
Diciembre	25,5	48,5	8,31
Año: 2011			
Enero	26,3	83,3	7,32
Febrero	26,5	133,8	6,39
Marzo	27,6	6,0	8,97
Abril	26,9	262,1	8,17
Mayo	27,0	0	10,08
Junio	25,8	3,5	9,53
Julio	25,4	7,1	8,74
Promedio	25,76	43,73	9,72

Tabla 5.1. Datos climáticos de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: Información de Metar

5.2. Datos de caudal y temperatura del agua.

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas es necesario determinar el caudal promedio que entrará al sistema de tratamiento, así como la temperatura del agua.

En la Tabla 5.2. se presentan los caudales máximos, mínimos y medios, determinados por medición directa en las fechas indicadas. Además del factor punta considerado. En la tabla 5.3. se presentan las temperaturas máximas, mínimas y medias del agua por medición directa.

CAUDAL			
Fecha	Caudal máximo	Caudal mínimo	Caudal Medio
10/01/2011	49,5	27,3	38,4
21/02/2011	23,5	15,1	19,3
16/03/2011	37,2	21,0	29,1
31/05/2011	50,2	28,1	39,2
24/06/2011	54,8	22,6	38,7
08/07/2011	54,1	32,3	43,2
Caudal medio (m³/día)		34,6	
Caudal medio (m³/hora)		1,4	
Caudal máximo (m³/día)		54,8	
Caudal máximo (m³/hora)		2,3	
Factor Punto (Fp)		1,58	

Tabla 5.2. Caudales máximos, mínimos y medios.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

TEMPERATURA DEL AGUA			
Fecha	Temp. máxima	Temp. mínima	Temp. Media
10/01/2011	24,1	23,7	23,9
21/02/2011	26,1	25,0	25,6
16/03/2011	25,0	24,0	24,5
31/05/2011	27,5	27,0	27,3
24/06/2011	27,5	26,5	27,0
08/07/2011	26,5	26,0	26,3

Temperatura media (°C)	25,7
Temperatura máxima (°C)	27,5

Tabla 5.3. Temperaturas máximas, mínimas y medias del agua.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

En los gráficos 5.1. y 5.2. se presentan los comportamientos de los caudales y temperaturas máximos, mínimos y medios respectivamente, de acuerdo a las fechas en las que se tomaron las muestras.



Gráfico 5.1. Comportamiento del caudal.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.



Gráfico 5.2. Comportamiento de la temperatura del agua.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

5.3. Resultado de la caracterización de las aguas.

5.3.1. Tablas e interpretación gráfica de resultados

A continuación se presentan los resultados y análisis gráfico del comportamiento de cada uno de los parámetros de los seis muestreos realizados a las aguas residuales que se generan en el área de Tecnologías de la ESPOL, de acuerdo a las fechas en las que se tomaron las muestras.

Fecha	pH
10/01/2011	7,6
21/02/2011	6,8
16/03/2011	7,2
31/05/2011	7,2
24/06/2011	7,4
08/07/2011	6,9
pH promedio	7,2

Tabla 5.4. Resultados de pH de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

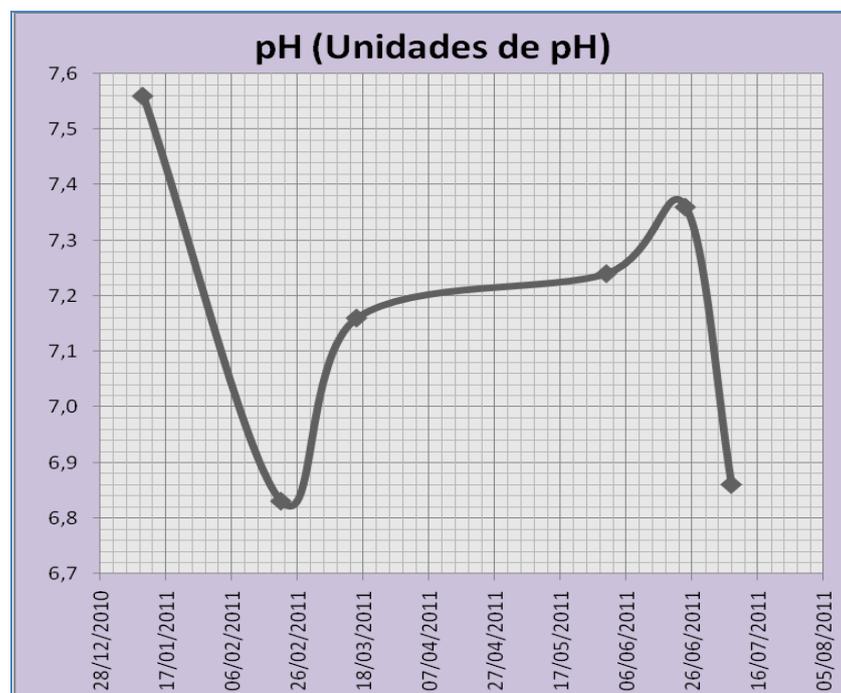


Gráfico 5.3. Comportamiento del pH.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
10/01/2011	614
21/02/2011	486
16/03/2011	369
31/05/2011	554
24/06/2011	740
08/07/2011	565
Conductividad Promedio	555

Tabla 5.5. Resultados de Conductividad de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

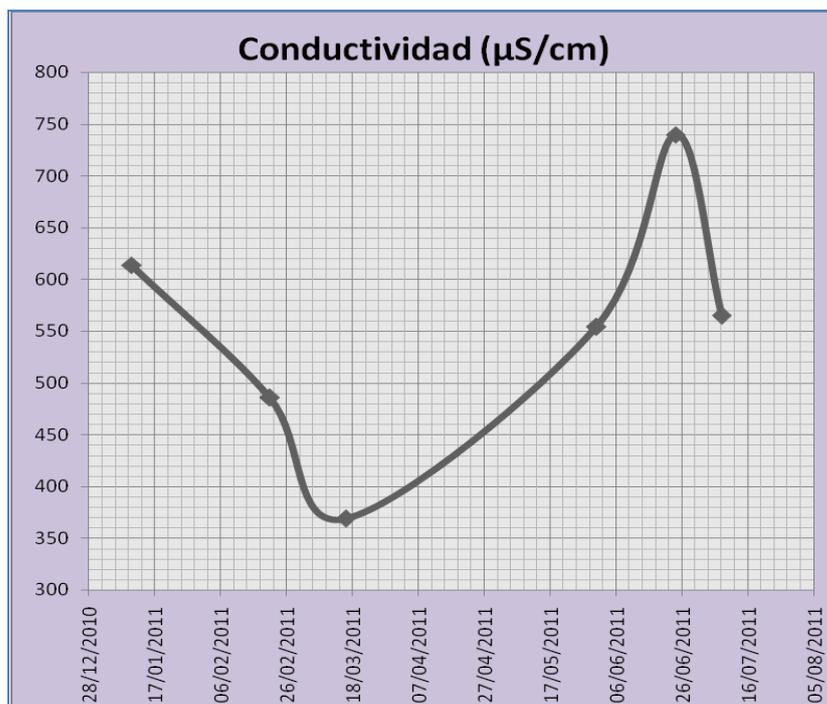


Gráfico 5.4. Comportamiento de la Conductividad.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Oxígeno disuelto (mg OD/l)
10/01/2011	2,7
21/02/2011	2,6
16/03/2011	2,4
31/05/2011	2,9
24/06/2011	1,4
08/07/2011	1,8
O.D. Promedio	2,3

Tabla 5.6. Resultados de Oxígeno Disuelto de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

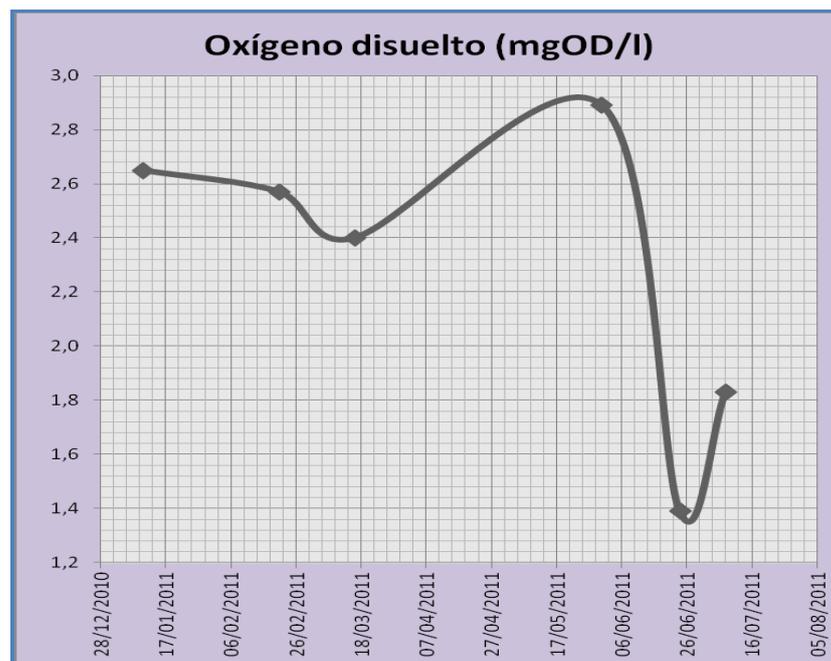


Gráfico 5.5. Comportamiento del Oxígeno Disuelto.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	DBO ₅ (mg O ₂ /l)
10/01/2011	167
21/02/2011	150
16/03/2011	128
31/05/2011	340
24/06/2011	315
08/07/2011	412
DBO₅ Promedio	252

Tabla 5.7. Resultados de DBO₅ de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

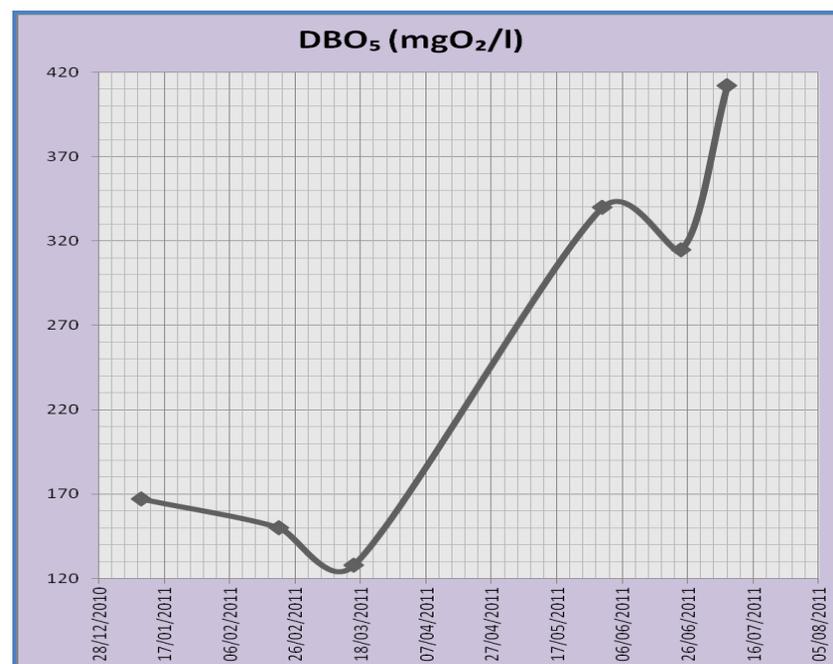


Gráfico 5.6. Comportamiento de la DBO₅.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	DQO (mg O ₂ /l)
10/01/2011	415
21/02/2011	346
16/03/2011	306
31/05/2011	680
24/06/2011	614
08/07/2011	787
DQO Promedio	525

Tabla 5.8. Resultados de DQO de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

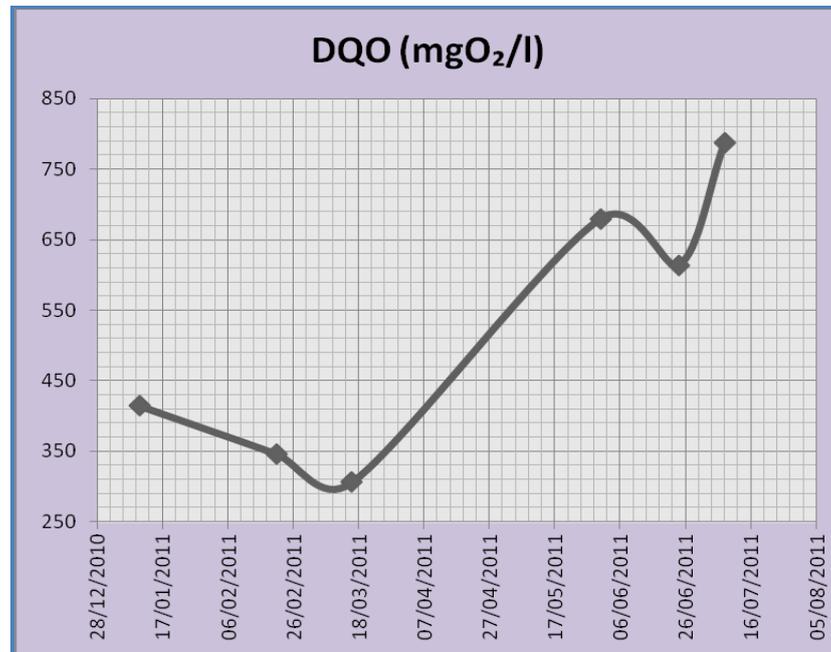


Gráfico 5.7. Comportamiento de la DQO.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Turbiedad (NTU)
10/01/2011	63
21/02/2011	38
16/03/2011	34
31/05/2011	193
24/06/2011	240
08/07/2011	226
Turbiedad Promedio	132

Tabla 5.9. Resultados de Turbiedad de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

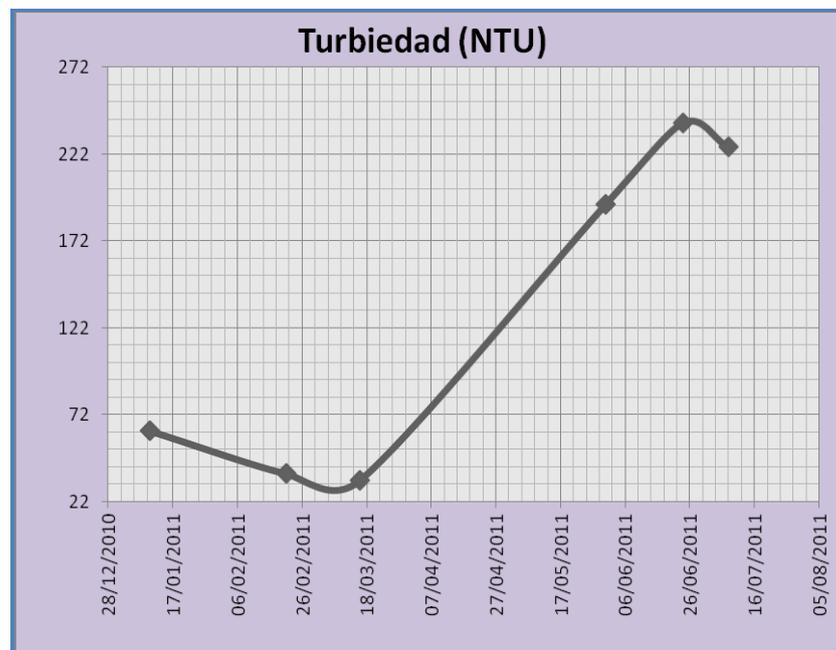


Gráfico 5.8. Comportamiento de la Turbiedad.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Fosfatos (mg P-PO ₄ ⁻³ /l)
10/01/2011	10,4
21/02/2011	9,8
16/03/2011	4,6
31/05/2011	6,5
24/06/2011	14,3
08/07/2011	14,3
Fosfatos Promedio	10,0
Fosforo	3,2

Tabla 5.10. Resultados de Fósforo como Fosfatos de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

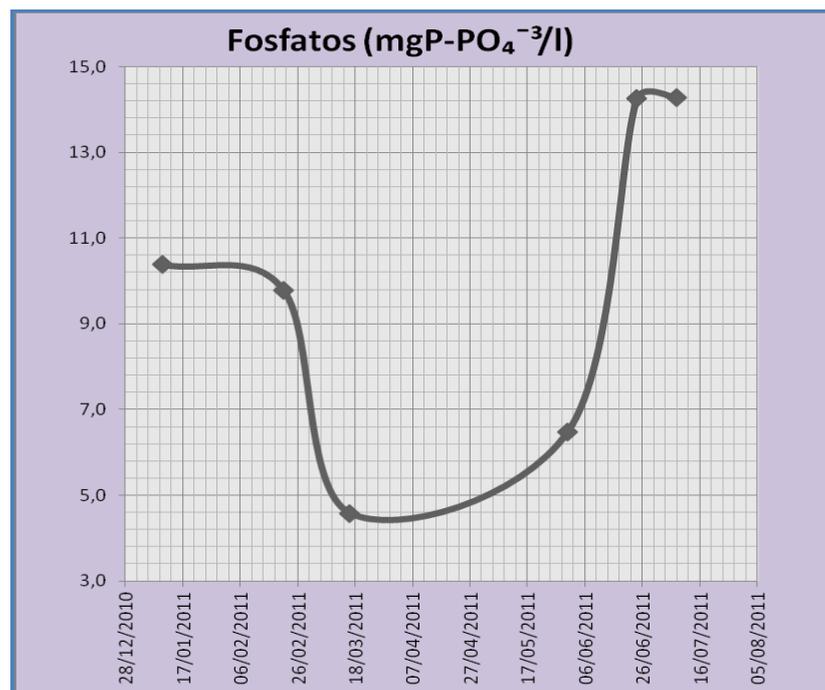


Gráfico 5.9. Comportamiento del fósforo como fosfato.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Amonio (mg N-NH ₃ /l)
10/01/2011	-
21/02/2011	1,8
16/03/2011	9,6
31/05/2011	26,8
24/06/2011	69,9
08/07/2011	59,0
Amonio Promedio	33,4
Nitrógeno	27,6

Tabla 5.11. Resultados de Nitrógeno como Amonio de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

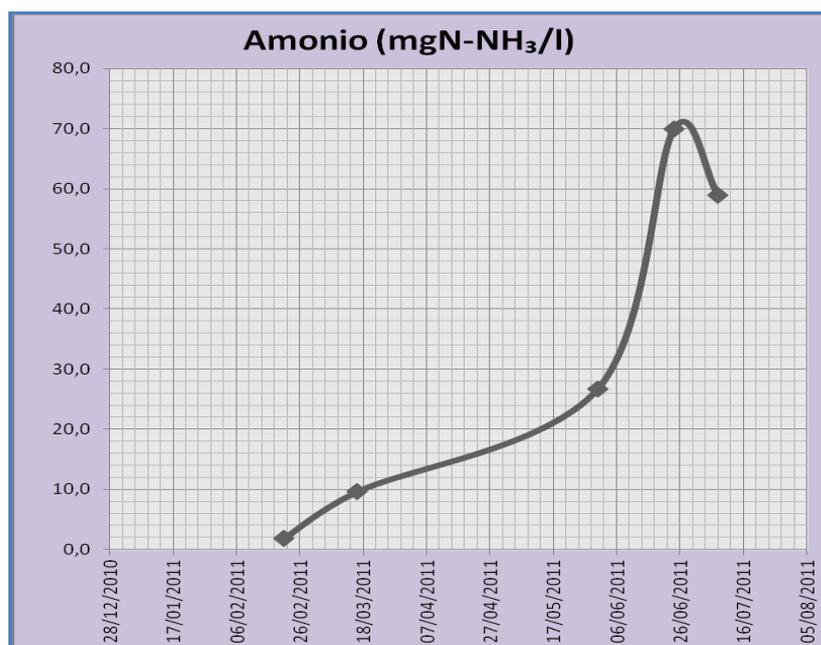


Gráfico 5.10. Comportamiento del Nitrógeno como Amonio.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /l)
10/01/2011	-
21/02/2011	-
16/03/2011	-
31/05/2011	0,66
24/06/2011	1,53
08/07/2011	2,23
Nitratos Promedio	1,47
Nitrógeno	0,34

Tabla 5.12. Resultados de Nitrógeno como Nitratos de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

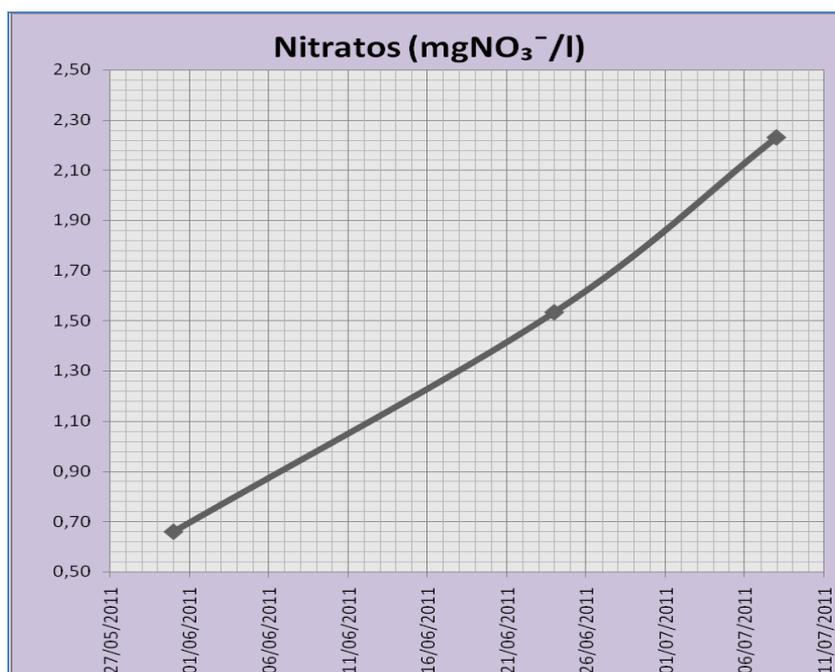


Gráfico 5.11. Comportamiento del Nitrógeno como Nitratos.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Nitritos (mg NO ₂ ⁻ /l)
10/01/2011	
21/02/2011	0,25
16/03/2011	0,15
31/05/2011	0,33
24/06/2011	0,50
08/07/2011	0,46
Nitritos Promedio	0,34
Nitrógeno	0,10

Tabla 5.13. Resultados de Nitrógeno como Nitritos de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

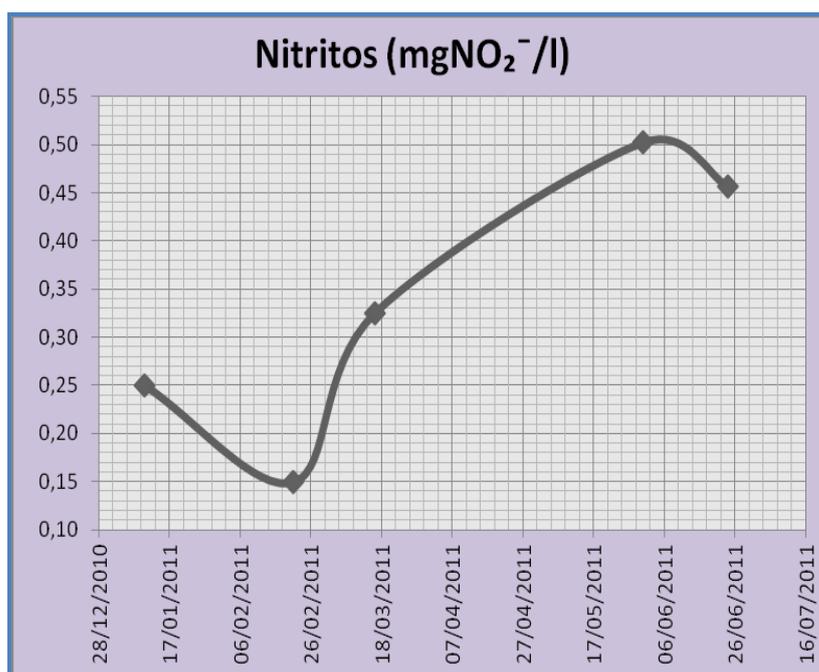


Gráfico 5.12. Comportamiento del Nitrógeno como Nitritos.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Sólidos Totales (mg ST/l)
10/01/2011	434
21/02/2011	510
16/03/2011	470
31/05/2011	546
24/06/2011	550
08/07/2011	574
S.T. Promedio	514

Tabla 5.14. Resultados de Sólidos Totales de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

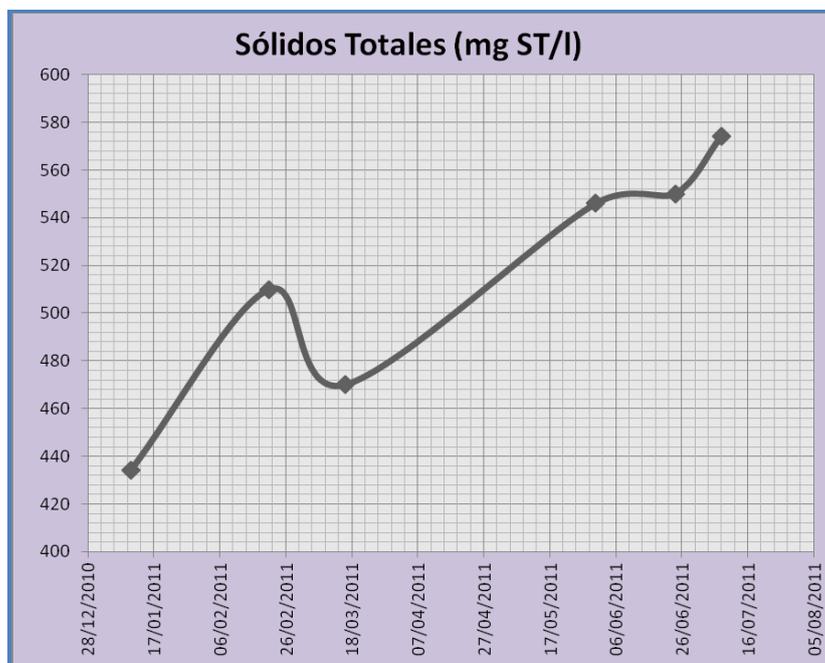


Gráfico 5.13. Comportamiento de los Sólidos Totales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I

Fecha	Sólidos Disueltos (mg SDT/l)
10/01/2011	280
21/02/2011	328
16/03/2011	218
31/05/2011	318
24/06/2011	346
08/07/2011	360
S.D. Promedio	308

Tabla 5.15. Resultados de Sólidos Disueltos de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

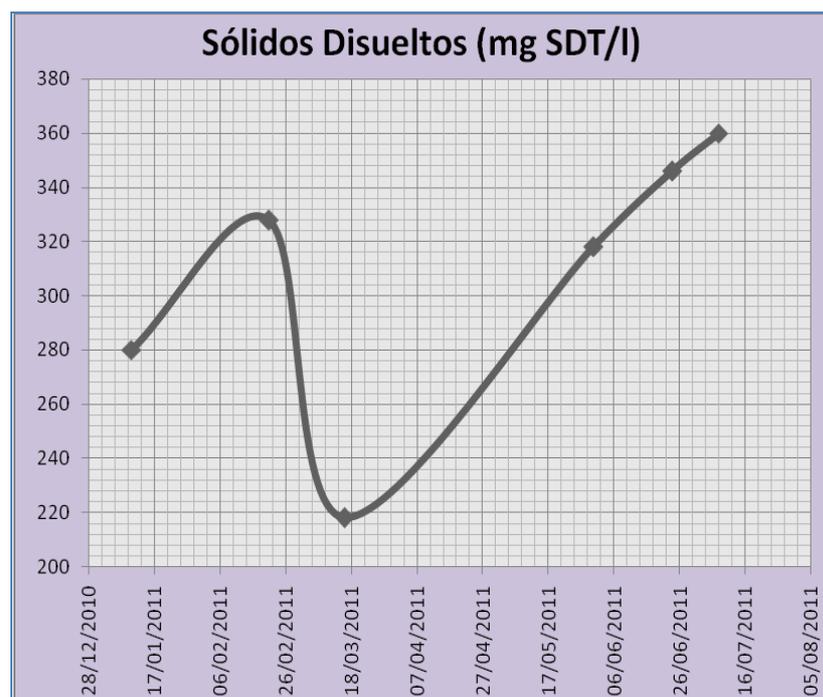


Gráfico 5.14. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Sólidos Suspendidos (mg SST/l)
10/01/2011	143
21/02/2011	187
16/03/2011	190
31/05/2011	140
24/06/2011	101
08/07/2011	210
S.S. Promedio	162

Tabla 5.16. Resultados de Sólidos Suspendidos de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

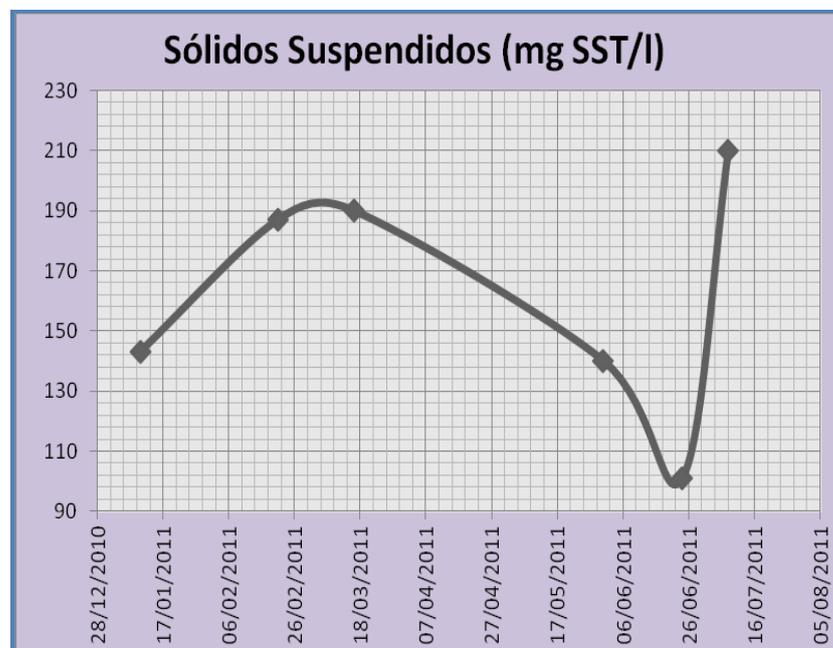


Gráfico 5.15. Comportamiento de los Sólidos Suspendidos.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Sólidos Sedimentables (ml/l)
10/01/2011	1,0
21/02/2011	1,0
16/03/2011	0,7
31/05/2011	1,5
24/06/2011	1,3
08/07/2011	1,5
S.Sedimentables Promedio	1,2

Tabla 5.17. Resultados de Sólidos Sedimentables de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

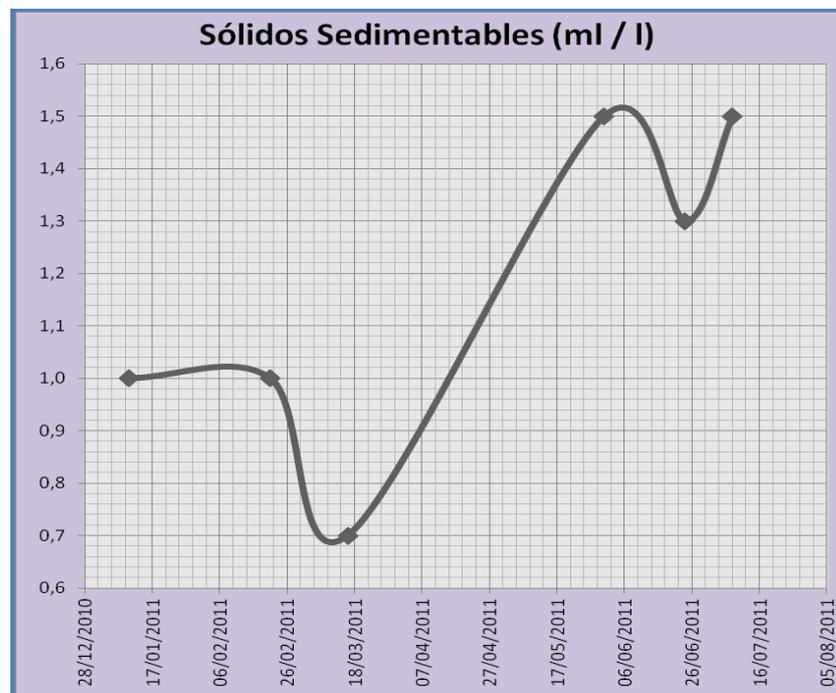


Gráfico 5.16. Comportamiento de los Sólidos Sedimentables.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Coliformes Totales (NMP/100ml)
10/01/2011	3,90E+04
21/02/2011	1,10E+05
16/03/2011	2,40E+05
31/05/2011	1,10E+08
24/06/2011	1,50E+07
08/07/2011	1,10E+07
C.T. Promedio	2,27E+07

Tabla 5.18. Resultados de Coliformes Totales de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

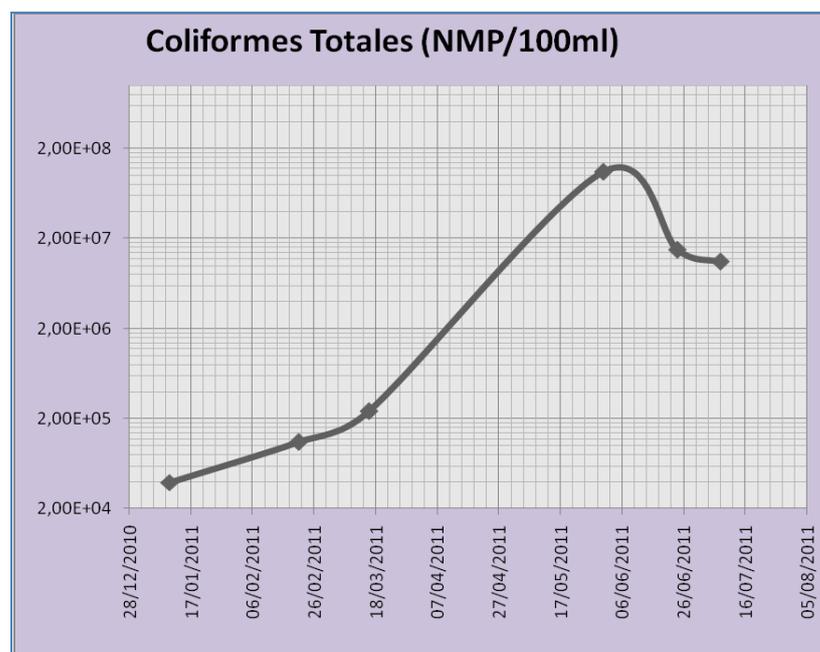


Gráfico 5.17. Comportamiento de los Coliformes Totales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Fecha	Coliformes Fecales (NMP/100ml)
10/01/2011	2,40E+04
21/02/2011	4,80E+04
16/03/2011	1,10E+05
31/05/2011	4,80E+05
24/06/2011	1,10E+05
08/07/2011	4,80E+06
C.F. Promedio	9,29E+05

Tabla 5.19. Resultados de Coliformes Fecales de las aguas residuales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I. LABORATORIO DE AGUAS-ICQA (Véase en Anexo 18)

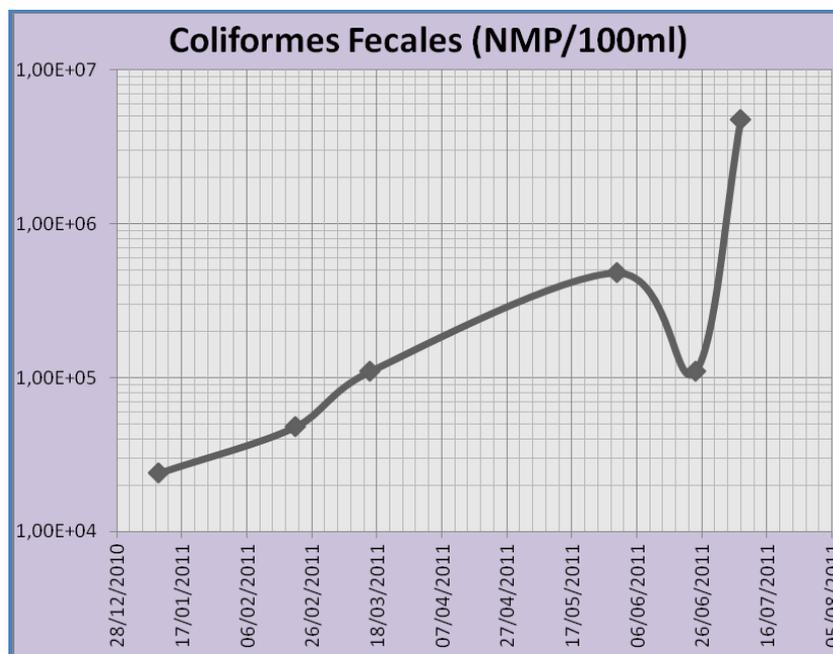


Gráfico 5.18. Comportamiento de los Coliformes Fecales.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

5.4. Análisis de resultados.

En base a los resultados y al análisis gráfico de los mismos, se puede definir la línea base de las condiciones de las aguas a tratar en el Sistema de Tratamiento que se desea evaluar.

De los monitoreos realizados encontramos una variación considerable de Temperatura, Oxígeno Disuelto, Caudal, DBO₅, DQO, Nutrientes y Coliformes Fecales.

La variación de DQO está entre 306 a 787 mg/l y DBO₅ está entre 128 a 412 mg/l; donde los valores altos de concentración se reflejan en los meses de mayo, junio y julio, debido al inicio de clases y mayor actividad en el área de Tecnologías.

Así mismo, las concentraciones de los nutrientes (fosfatos, amonio, nitratos y nitritos) y coliformes en el agua aumentan en estas fechas de inicio de clases, considerando además el inicio de actividades escolares en COPOL. La actividad de los laboratorios que prestan servicios (PROTAL) durante todo el año, influyen también en la aportación de contaminantes.

La temperatura se vio afectada por los cambios climatológicos propios de las estaciones del año, así como el caudal que incrementó como consecuencia del inicio de actividades estudiantiles.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA TECNOLOGÍAS

Para el diseño conceptual de sistemas de tratamiento los modelos matemáticos son una herramienta de apoyo. La complejidad de las reacciones biológicas y las interacciones que se dan entre ellas dificultan, por una parte, la racionalización de los criterios y recomendaciones de diseño y, por la otra, el establecimiento de una metodología basada en un modelo matemático simple y universal para las lagunas (Ovano, 1981). [2]

A pesar de ello se han establecido criterios (apoyados ya sea en modelos matemáticos, conceptualizaciones teóricas y/o en la experiencia) con los que obtienen sistemas confiables para predecir la calidad de los efluentes (Thirumurthi, 1991).

En este capítulo se describen algunas metodologías que han sido propuestas para diseñar los diferentes tipos de lagunas.

6.1. Conceptos básicos de diseño.

Para realizar en forma apropiada el diseño y la operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es necesario entender claramente el significado de los siguientes conceptos en los que se basan la mayoría de los criterios y recomendaciones:

- Tiempo de retención hidráulica (T_r): Es el tiempo que teóricamente pasa el agua dentro del sistema de tratamiento biológico y que se utiliza en el diseño. Se puede estimar a partir de la siguiente relación.

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

donde:

V: Volumen total del líquido contenido dentro de la laguna, m³

Q: Gasto de agua, m³/día

- Carga orgánica (C_o): Es la masa de sustrato (materia orgánica medida como DBO₅, o DQO) que se aplica diariamente a la laguna y que será estabilizada en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DBO₅, por unidad de, tiempo. Se obtiene mediante:

$$C_o = (DBO_5)(Q)$$

- Habitante equivalente (h.e.): Para la medición de la contaminación biodegradable presente en las aguas residuales se ha adoptado un patrón que se conoce como habitante equivalente (h.e.), que relaciona caudales y calidades de las aguas residuales, y que queda definido como “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 gramos de oxígeno por día” [4].

El cálculo de los habitantes equivalentes es un factor sumamente importante en el ámbito de la depuración de las aguas residuales, e influye de forma significativa sobre:

- Los caudales y la calidad de las aguas residuales generadas.
- La tecnología a aplicar para la depuración de las aguas.

El aporte de caudales y la calidad de los mismos, además de relacionarse con el tamaño de la población, se encuentran íntimamente relacionados con el tipo de agua consumida.

Conocido el caudal de aguas residuales (Q) generado por una aglomeración urbana y el valor de su DBO₅, la población equivalente (h.e.) se determina mediante la expresión:

$$h.e. = \frac{Q(m^3/día) \times DBO_5(mg/l)}{60 \text{ g } DBO_5/día}$$

6.2. Lagunas facultativas.

En este tipo de lagunas, con profundidades de 1 a 2 m, se establecen, de forma natural, tres estratos claramente diferenciados: fondo, zona intermedia y zona superficial.

6.2.1. Métodos de diseño.

En el dimensionamiento de las lagunas facultativas cabe distinguir entre métodos racionales, matemáticos y empíricos.

Los métodos racionales intentan explicar, en términos científicos, lo que ocurre en las lagunas facultativas, asumiendo hipótesis restrictivas tales como:

- La composición de la alimentación es constante durante todo el año.
- El régimen hidráulico en las lagunas se corresponde con un modelo ideal de flujo.
- No se consideran las sedimentaciones de materia orgánica particulada en el fondo de las lagunas.
- Las lagunas funcionan en régimen estacionario.
- La cinética de la depuración es de primer orden, con una constante de velocidad que varía exponencialmente con la temperatura.

Los métodos matemáticos si bien, pueden ser considerados como una subcategoría de los métodos racionales. Se diferencian de los mismos por hacer uso de hipótesis muy diferentes, considerando las lagunas como sistemas dinámicos con cinéticas complejas y regímenes de flujo no ideales. Por último, los métodos empíricos son relaciones matemáticas sencillas, deducidas de la observación experimental y que utilizan como variables de diseño el caudal de aguas residuales a tratar, el tiempo de residencia y la carga orgánica superficial. [7]

6.2.1.1. Métodos Racionales.

✓ El Modelo de mezcla completa y cinética de primer orden se basa en las hipótesis siguientes:

- La reducción de la materia orgánica sigue una cinética de primer orden.
- En la laguna se dan condiciones de mezcla completa.
- No se producen pérdidas por evaporación y/o filtración.

Efectuando el correspondiente balance de materia mostrado en la Figura 6.1., se obtiene:

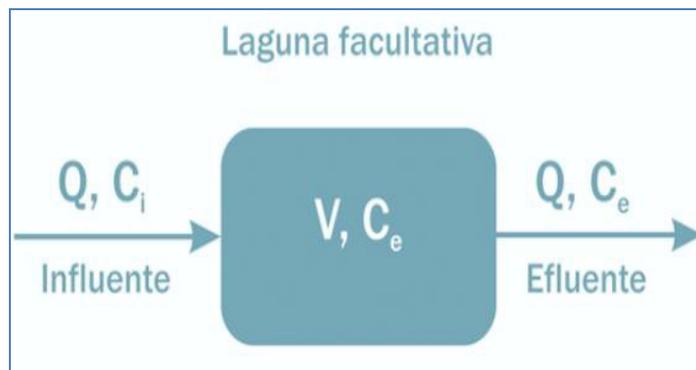


Figura 6.1. Balance de materia de una Laguna Facultativa.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

Quedando el balance expresado como:

$$Q \cdot C_e = Q \cdot C_i - k_d \cdot V \cdot C_e$$

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

$$C_e = C_i - k_d \cdot C_e \cdot T_r$$

$$C_e = \frac{C_i}{1 + k_d \cdot T_r}$$

$$T_r = \frac{1}{k_d} \left(\frac{C_i}{C_e} - 1 \right)$$

Donde C_e , es la DBO_5 del efluente (mg/l); C_i , la DBO_5 del influente (mg/l); T_r , el tiempo de retención (días); k_d , es la constante de reacción de primer orden para la eliminación de DBO_5 . (días^{-1}). Su influencia respecto a la temperatura viene dada por:

Autor	Ecuación
Marais (1966)	$k_{CT} = k_{C35} (1,085)^{T-35}$
Mara (1976)	$k_{CT} = 0,35 (1,05)^{T-20}$
Gloyna (1973)	$k_{CT} = 0,17$
Israel (Mara, 1976)	$k_{CT} = 0,8 (1,05)^{T-20}$
Sudáfrica (Mara, 1976)	$k_{CT} = 0,17$ si $T > 5$ °C $k_{CT} = 0,14$ si $T < 5$ °C
Tchobanoglous (1985)	$k_{CT} = 0,2-0,4$

Tabla 6.1. Constante de reacción a temperatura T (d⁻¹).

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

Donde k_d = constante de reacción a la temperatura T (d⁻¹);

K_{C35} = constante de reacción a 35 °C = 1,2 d⁻¹;

T = temperatura de operación (°C).

✓ La ecuación básica del modelo del flujo pistón y cinética de primer orden es la siguiente:

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp[-k_p \cdot T_r]$$

Donde:

$$T_r = -\frac{1}{k_p} \ln \left(\frac{C_e}{C_i} \right)$$

Siendo C_e = DBO₅ del efluente (mg/l); C_i = DBO₅ del influente (mg/l); T_r = tiempo de retención (días); y k_p = constante de

velocidad (días^{-1}) para el modelo de flujo pistón, su influencia respecto a la temperatura viene dada por la expresión (EPA, 1983):

$$k_p = k_{p20} \cdot (1.09)^{T-20}$$

K_p = constante de reacción a la temperatura T (días^{-1});

K_{p20} = constante de reacción a 20 °C;

T = temperatura de operación (°C).

El valor de k_{p20} en función de la carga orgánica superficial (C_{os}) se muestra en la Tabla 6.2. (EPA, 1983).

COS (kg DBO ₅ ha ⁻¹ d ⁻¹)	k_{p20} (d ⁻¹)
22	0,045
25	0,071
67	0,083
90	0,096
112	0,129

Tabla 6.2. Valores de k_{p20} en función de la carga orgánica superficial.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

6.2.1.2. Métodos Matemáticos.

Para el tratamiento de aguas residuales urbanas, Thirumurti propone la siguiente relación entre la constante de reacción y la temperatura:

$$k = 0.15(1.072)^{T-20}$$

Donde K = constante de reacción de DBO₅ a la temperatura de diseño (d⁻¹) y T = temperatura de diseño (°C).

6.3. Lagunas de pulimento o maduración.

El tiempo de retención y la temperatura son los principales parámetros involucrados en el diseño de las lagunas de maduración, diseño que se basa en modelos cinéticos para la eliminación de organismos patógenos representados, generalmente, por medio de los coliformes fecales. La mayoría de los modelos proponen cinética de primer orden.

6.3.1. Métodos de diseño.

La ecuación de diseño más habitual para el diseño de las lagunas de maduración es la desarrollada por Marais en 1974:

$$N_e = \frac{N_i}{1 + k_b \cdot t}$$

Siendo N_e= número de coliformes fecales/100 ml en el efluente; N_i= número de coliformes fecales/100 ml en el

influyente; k_b = constante de velocidad para la eliminación de coliformes (d^{-1}) y t = tiempo de retención (d).

Esta constante se relaciona con la temperatura mediante la expresión:

$$k_b = 2.6(1.19)^{T-20}$$

Donde, T = temperatura media del agua ($^{\circ}C$)

6.4. Sistemas combinados.

Los sistemas lagunares múltiples e integrados forman un tratamiento más económico y seguro que los sistemas convencionales y se diseñan de la misma forma que los sistemas individuales.

Se pueden establecer distintas combinaciones de los tipos de lagunas en función de las características del agua a tratar, de las exigencias del efluente y de la disponibilidad de terreno básicamente. Para agua residual de origen doméstico, los sistemas más adecuados son:

- ✓ Facultativa + Aerobia.
- ✓ Facultativa + Maduración.
- ✓ Facultativa + Facultativa + Aerobia.
- ✓ Anaerobia+ Facultativa + Aerobia.
- ✓ Anaerobia+ Facultativa +Maduración.

✓ Facultativa+ Facultativa +Maduración.

Se escogerá el sistema combinado adecuado para la calidad de agua que se desea obtener.

6.5. Selección de alternativa óptima a ser considerada en el diseño conceptual definitivo.

Después de la descripción de los métodos y modelos matemáticos para los diferentes procesos anteriormente mencionados, y en base a los resultados obtenidos de la calidad del agua, se analizará la alternativa óptima de diseño para el Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnología de la ESPOL.

6.5.1. Comparación de métodos y Selección del sistema combinado propuesto.

La selección de los métodos de diseño para cada una de las etapas de la depuración debe estar de acuerdo a la cinética con la que se desea trabajar y en base al criterio de ingeniería.

En el caso de la laguna facultativa se escogió trabajar con el método racional, usando el modelo de mezcla completa y cinética de primer orden teniendo en cuenta las facilidades y

ventajas que se obtienen trabajando con este método, tanto en el cálculo como en la eficiencia.

$$T_r = \frac{1}{k_d} \left(\frac{C_i}{C_e} - 1 \right)$$

Para el caso de la laguna de maduración se trabajó con la ecuación de Marais, siendo esta la más utilizada para diseños de lagunas de este tipo:

$$N_e = \frac{N_i}{1 + k_b \cdot t}$$

$$k_b = 2.6(1.19)^{T-20}$$

6.5.2. Descripción de la alternativa óptima seleccionada.

Para un sistema con caudal promedio de 35 m³/día, habitantes equivalentes h.e.= 182, y carga orgánica de 11 kg/hab-día.

A continuación se describe cada una de las etapas de tratamiento considerando los modelos y fórmulas matemáticas planteadas anteriormente.

Para lo cual se realizó en Excel 2010, y haciendo uso de los datos obtenidos en el capítulo 5, un modelado de todo el sistema de tratamiento, considerando el factor de 1,25 para los valores medios en los parámetros de diseño.

1) Pre-tratamiento:

✓ Desbaste: (rejas gruesas y finas)

Para este sistema preliminar al tratamiento se toma en consideración los siguientes aspectos descritos en la tabla 6.3.

Características	Reja de Gruesos	Reja de Finos
Modo de funcionamiento	Manual	Automático
Anchura de los barrotes (mm)	>12	<6
Luz entre barrotes (mm)	50-100	10-25
Pendiente en relación a la vertical (grados)		30-45
Velocidad de aproximación (m/s)		0,3-0,6
Pérdida de carga admisible (m)	0,15	0,15

Tabla 6.3. Valores recomendados para el diseño de un canal de desbaste

Fuente: García, J. y Corzo, A. DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS [10]

Se propone un sistema con un canal de reparto donde estarán dos pares de rejas de limpieza manual colocadas en secciones de dicho canal.

El espacio entre barrotes será de 3 cm (gruesos) y 1 cm (finos) y cada uno tendrá una longitud de 35 cm y 40 cm de alto. Inclinación 30° respecto a la vertical.

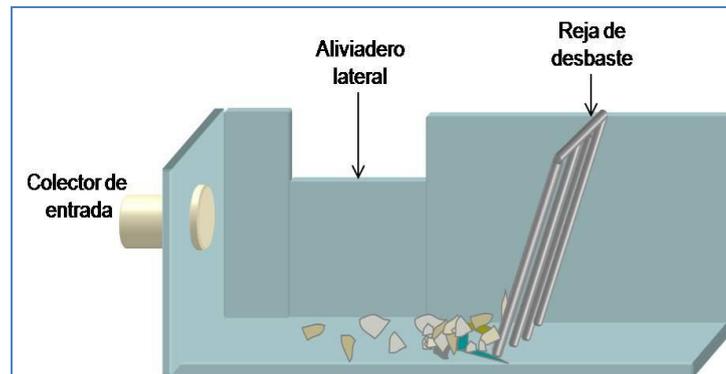


Figura 6.2. Esquema de un canal de desbaste.

Fuente: García, J. y Corzo, A. DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS [10]

2) Tratamiento Primario:

✓ Fosa Séptica: (2 compartimentos)

Como norma general, el volumen total de la Fosa Séptica oscila entre los 250 y 300 l/ h.e. Cuando la Fosa Séptica conste de dos compartimentos, se recomienda que el primero ocupe un 66% del volumen total.

La altura útil del agua en el interior de los compartimentos oscila entre 1,2 y 1,7 m, dejándose un resguardo en la parte superior de 0,3 m. La longitud total de la Fosa debe estar comprendida entre dos y tres veces la anchura de los compartimentos.

Parámetro	Valor recomendado
Volumen mínimo del agua + fangos	$Q_{\text{diario}} < 6 \text{ m}^3/\text{d} \dots\dots\dots V = 1,5 \cdot Q_{\text{diario}}$ $6 < Q_{\text{diario}} < 40 \text{ m}^3/\text{d} \dots\dots\dots V = 4,5 \text{ m}^3 + 0,75 \cdot Q_{\text{diario}}$ $Q_{\text{diario}} > 40 \text{ m}^3/\text{d} \dots\dots\dots \text{Tanque Imhoff}$
Altura útil del agua	Superior a 1 m
Resguardo (material flotante)	Superior a 0,25 m
Velocidad de acumulación de fango	0,5 L/hab-d
Periodicidad de vaciado de fangos	2-3 años
Compartimientos	2 (2/3 del volumen el primero y 1/3 el segundo) ó 3 (1/2, 1/4 y 1/4 ó, 1/3, 1/3, 1/3)
Tiempo de retención	$< 10 \text{ m}^3 \dots\dots\dots 3 \text{ días}$ $> 10 \text{ m}^3 \dots\dots\dots 2 \text{ días}$ mínimo: 1 día
Dispositivo de entrada	Tubería sumergida 0,30 m
Dispositivo de salida	Tubería sumergida mínimo 0,30 m y/o 40% de la altura del agua
Dimensiones (A= ancho, L=largo)	$4 \cdot A > L > 2 \cdot A$

Tabla 6.4. Valores recomendados para el diseño de fosa séptica

Fuente: García, J. y Corzo, A. DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS [10]

El primer compartimento abarcará el 66% del volumen total 45 m^3 (30 m^3) y el segundo el 34 % (15 m^3). La altura será de $h=1.5 \text{ m} + 0.3 \text{ m}$ (resguardo), con lo cual el área será de $A= 30 \text{ m}^2$ ($L=7,5\text{m}$; $a=4\text{m}$).



Figura 6.3. Sección Transversal de Fosa Séptica de dos Compartimientos

Fuente: García, J. y Corzo, A. DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS [10]

La eficiencia de este sistema se describe a continuación en la Tabla 6.5.

Parámetro	% Remoción
SS	50-60
DBO ₅	20-30
DQO	20-30
N	10-20
P	0-5
Coliformes Fecales	50-75

Tabla 6.5. Porcentaje de remoción a la salida de la fosa séptica

Fuente: Los autores ICREW. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población. [4]

3) Tratamiento Secundario:

✓ Lagunaje (Facultativo y maduración):

Se busca darle al agua un tratamiento final para eliminación de carga contaminante (DBO₅) y carga bacteriana (Coliformes Fecales), tomando en cuenta la eficiencia y remoción de los principales contaminantes.

La complejidad de estos sistemas por lagunaje, abarcan también los factores a tener en cuenta al momento de adecuar el terreno y especificar sus detalles constructivos.

De acuerdo a los cálculos respectivos, para la laguna facultativa se debe tomar en cuenta una profundidad entre 1.5 a 2.0 m, dejando un borde libre de 0.5 m:

L. Facultativa: $h = 2$ m, $T_r = 3$ días, $A = 52$ m²

Y para la laguna de maduración una profundidad de entre 0.8 a 1.0 m, dejando un borde libre de 0.5 m:

L. Maduración: $h= 1\text{ m}$, $T_r= 6\text{ días}$, $A= 208\text{ m}^2$

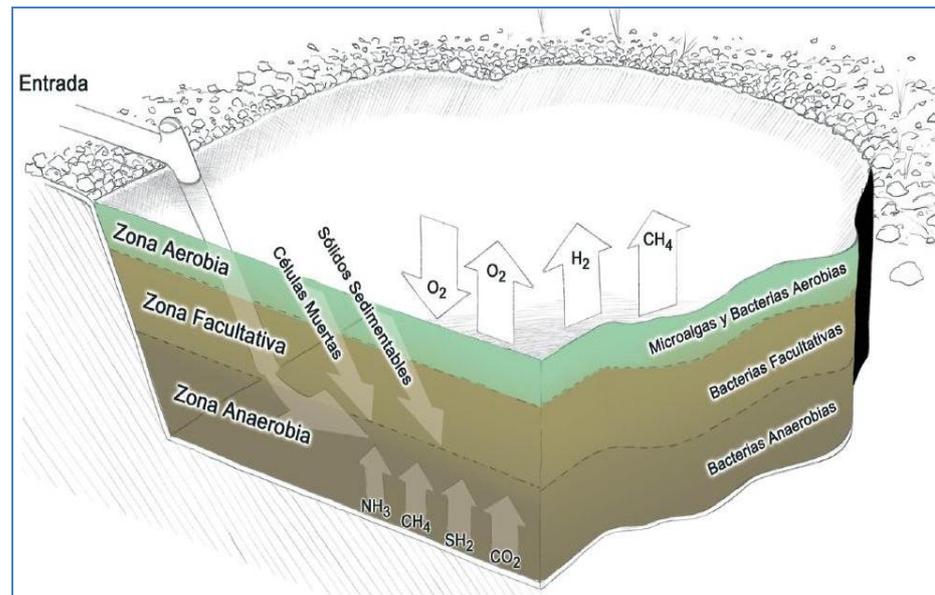


Figura 6.4. Esquema del funcionamiento de una laguna facultativa.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

Parámetro	% Remoción		
	L. Anaerobia	L. Facultativa	L. Maduración
SS	50-60	0-70	40-80
DBO ₅	40-50	60-80	75-85
DQO	40-50	55-75	70-80
N	5-10	30-60	40-80
P	0-5	0-30	30-60
Coliformes Fecales	30-70	99.5-99.8	99.9-99.99

Tabla 6.6. Porcentaje de remoción a la salida de las lagunas

Fuente: Los autores ICREW. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población. [4]

4) Disposición final del Tratamiento:

✓ Reservorio:

Una vez que se ha cumplido con el tratamiento completo de las aguas residuales, éstas deberán ser depositadas a un reservorio. El reservorio propuesto tendría las siguientes dimensiones:

L= 4.5 m; ancho= 4 m, y h= 2 m

6.5.3. Modelado del Sistema de Tratamiento.

Parámetros Climáticos y Ambientales				
Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor Medio	Unidad
Temp. Ambiente	20,9	32,7	25,8	°C
Precipitación	1,00	262	43,7	mm
Viento	6,4	12,9	9,7	Km/hr

Parámetros en caja receptora				
Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor Medio	Unidad
Caudal	-	54,8	34,6	m ³ /día
Temp. Agua	23,7	27,5	25,7	°C

Parámetros Físico-Químicos				
Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor Medio	Unidad
pH	6,8	7,6	7,2	Unidad de pH
DBO ₅	128	412	252	mg O ₂ /l
DQO	306	787	525	mg O ₂ /l
Fósforo	1,5	4,7	3,2	mg P/l
Nitrógeno	1,6	58,3	28,1	mg N/l
S. suspendidos	101	210	162	mg /l

Parámetros Microbiológicos				
Parámetro	Valor Mín.	Valor Máx.	Valor Medio	Unidad
C. Totales	3,90E+04	1,10E+08	2,27E+07	NMP/100ml
C. Fecales	2,40E+04	4,80E+06	9,29E+05	NMP/100ml

Nota	<i>Considerar un factor para los valores medios de los parámetros</i>
-------------	---

Factor	1,25
---------------	------

Parámetros de diseño			
Parámetro	Valor Medio	Valor *(factor)	Unidad
DBO ₅	252	315	mg O ₂ /l
Fósforo	3,2	4	mg P/l
Nitrógeno	28,1	35	mg N/l
S. suspendidos	162	203	mg /l
C. Fecales	2,40E+04	1,16E+06	NMP/100ml

Evaluación del requerimiento de N y P

Relación	Referencia	Cálculo	Resultado
DBO ₅ :N:P	(100:5:1)	(315:35:4)	Verificar
DBO ₅ /DQO	Tabla 3.3	0,48	Biodegradable
N/P	> 4.5	8,66	OK
(N/DBO ₅)*100	> 4.5	11,13	OK
(P/DBO ₅)*100	< 1	1,29	Pasa

Cálculos Previos		
Variable	Valor	Unidad
habitante equivalente	182	h.e.
Carga Orgánica	11	KgDBO ₅ /día

Pre-tratamiento					
Desbaste	Separación	Longitud	Ancho	Altura	Inclinación
Rejas Gruesas	30 mm	0,35 m	> 12 mm	0,4 m	30 °
Rejas Finas	10 mm	0,35 m	< 6 mm	0,4 m	30 °
Canal	-	3 m	0,35 m	0,5 m	-

Tratamiento Primario		
Fosa Séptica	Valor	Unidad
Volumen	45	m ³
Tiempo de retención	1,3	días
Altura	1,5	m
Área	30	m ²
Longitud	7,7	m
ancho	3,9	m
Tratamiento Secundario		
Laguna Facultativa	Valor	Unidad
Ci (DBO ₅ influente)	236	mg/l
Ce (DBO ₅ efluente)	95	mg/l
Kc(35°C)	1,20	días ⁻¹
Tmín-agua	23,7	°C
Kd	0,48	días ⁻¹
tiempo de retención	3	días
Volumen	104	m ³
Altura	2	m
Área	52	m ²
Longitud	10,2	m
ancho	5,1	m
Tratamiento Secundario		
Laguna Maduración	Valor	Unidad
Ni (C.F influente)	2903	NMP/100ml
Ne (C.F efluente)	100	NMP/100ml
Kb (20°C)	2,6	días ⁻¹
Tmín-agua	23,7	°C
Kb	4,95	días ⁻¹
tiempo de retención	6	días
Volumen	208	m ³
Altura	1	m
Área	208	m ²
Longitud	20,4	m
ancho	10,2	m

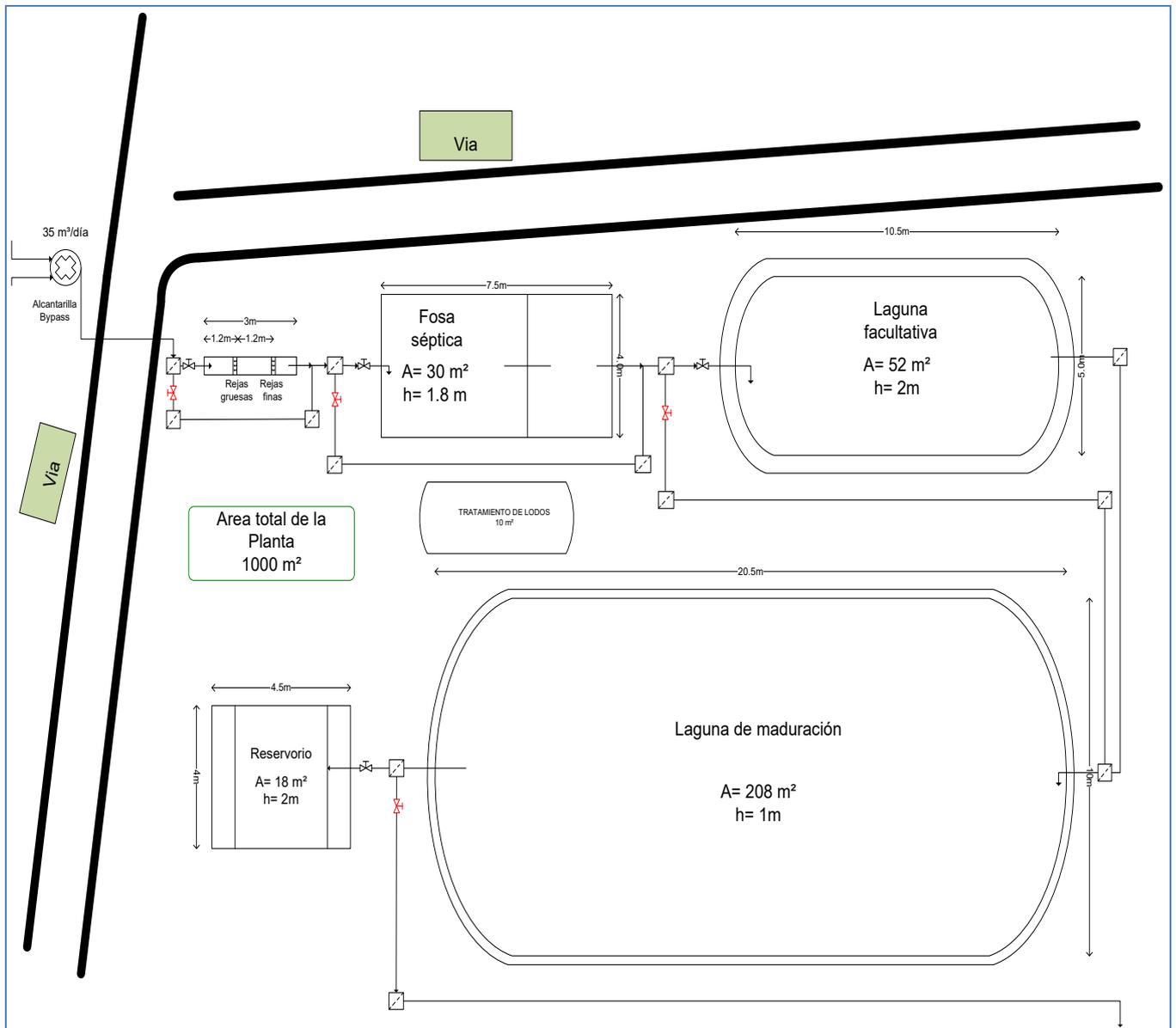
% remoción	Efluente
SS (50 %)	101
DBO ₅ (25 %)	236
N (12 %)	31
P (3 %)	4
C.F (50 %)	5,81E+05

% remoción	Efluente
SS (30%)	71
DBO ₅ (60 %)	95
N (40%)	19
P (10 %)	4
C.F (99,5 %)	2,90E+03

% remoción	Efluente
SS (50%)	35
DBO ₅ (75 %)	24
N (50 %)	9
P (40 %)	2
C.F (99,9 %)	3

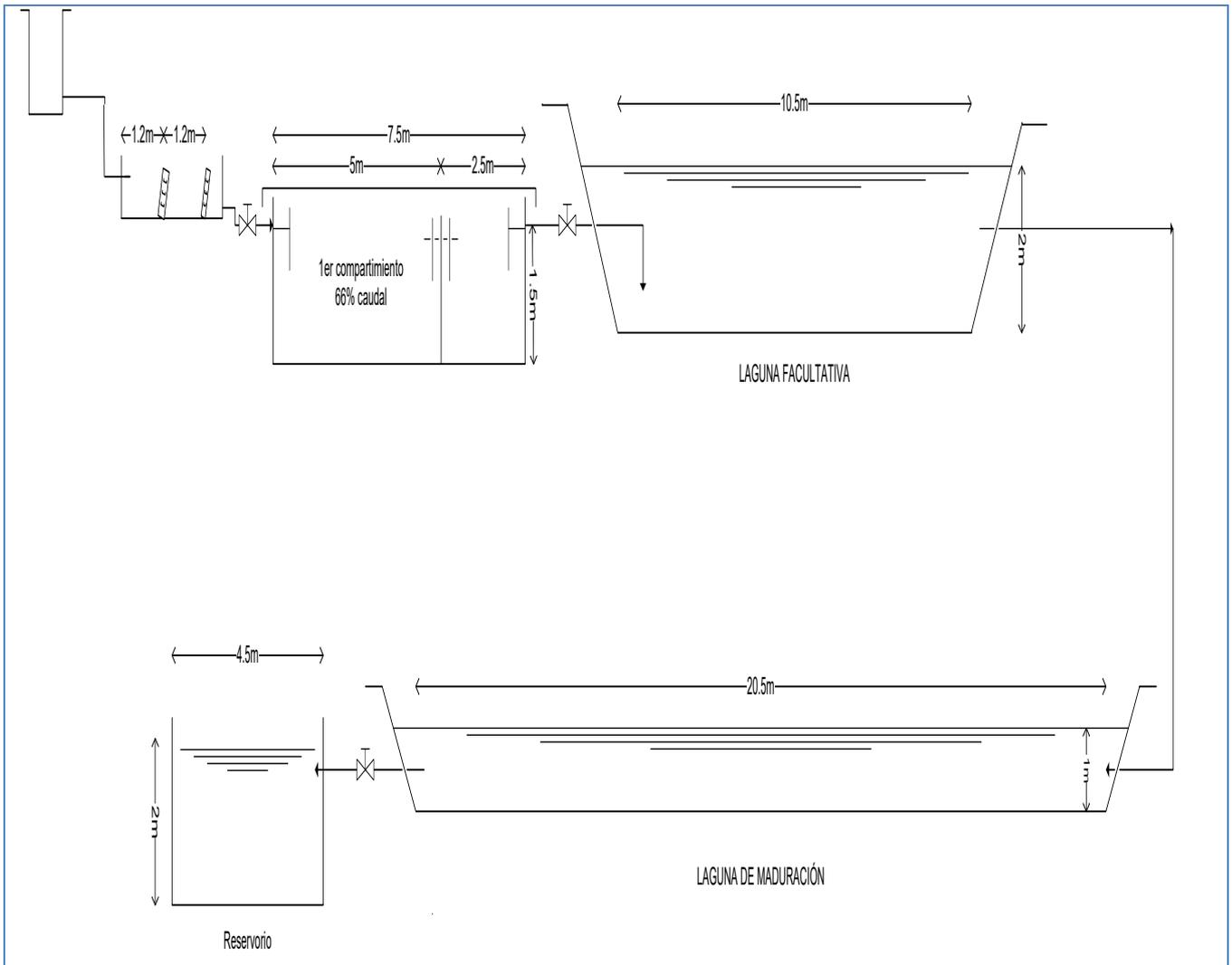
	Valores Referenciales (Datos)
	Valores Calculados para diseño
	Cálculo de efluentes

6.5.4. Elaboración de planos base.



Plano 6.1. Vista de Planta del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto en el área de Tecnologías-ESPOL.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.



Plano 6.2. Vista Lateral del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto en el área de Tecnologías-ESPOL.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

CAPÍTULO 7

7. DETALLES Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SELECCIONADO

7.1. Tratamiento preliminar.

7.1.1. Rejillas.

Consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.), así como de finos, que de otro modo podrían deteriorar o bloquear y obstruir el paso de la corriente de agua. El procedimiento más usual consiste en hacer pasar las aguas a través de rejillas, que de acuerdo con la separación entre los barrotes.

El canal deberá ser construido de concreto, revestido de un sellador impermeable que impida infiltraciones.

Las rejillas serán de hierro o de acero inoxidable, de tal modo que exista una separación entre ellas de acuerdo al modelado (gruesas 30 mm y finas 10 mm), y que tengan un eje en la

parte superior que permita el levantamiento de las mismas para su limpieza.

La inclinación de las rejas se recomienda esté a unos 30° respecto a la vertical, esto servirá para que el agua tenga una mayor área de contacto con el sistema de desbaste y así evitar obstrucciones.

Se propone además la colocación de bandejas perforadas en la parte superior de las rejas que permitan, una vez retirado los sólidos con limpieza manual, escurrir las trazas de agua retenidas en la recogida.

Una característica fundamental en la construcción de estos sistemas de desbaste así como en todos los sistemas posteriores, es el aliviadero. Se propone como se muestra en el plano 6.1., tuberías auxiliares que permitan, en caso de daño, obstrucciones o incluso mantenimiento, descargar el agua al siguiente sistema.

7.1.2. Fosa Séptica.

Las Fosas Sépticas son dispositivos enterrados en los que decantan y se mineraliza la materia orgánica sedimentable presente en las aguas residuales a tratar.

Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie. En el primero se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual. El agua clarificada pasa a un segundo compartimento donde tiene lugar una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor cuantía.

Los lodos retenidos en los fondos de los distintos compartimentos, experimentan reacciones de degradación anaerobias, reduciendo su volumen, lo que permite que la Fosa funcione durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purga de lodos.

El material de construcción, tal como en el sistema de desbaste, será con concreto y así mismo con el impermeabilizante para evitar infiltraciones.

La fosa deberá estar enterrada a unos 40 cm de la superficie y se deberá considerar al menos 3 tapas en la parte superior que permita el mantenimiento preventivo y correctivo de la misma. Además de chimeneas cubiertas en la superficie superior de estropajo que servirá como filtro para captura de

gases tales como los sulfuros producto de la degradación anaerobia.

7.2. Factores constructivos de las lagunas.

Las lagunas se construyen generalmente por excavación del terreno natural, formando un bordo perimetral con el fin de encerrar el área de tratamiento, evitar la aportación de escurrimientos superficiales y, en ocasiones, aumentar la capacidad de almacenamiento. Con frecuencia, se sobre-excava a mayor profundidad que la requerida por el proyecto ya que los depósitos naturales de suelo normalmente no tienen las características adecuadas para un desplante directo, y se debe sustituir el material sobre-excavado por uno de relleno seleccionado y bien compactado.

7.2.1. Identificación del sitio.

Una vez obtenidos los resultados antes mencionados en los estudios realizados por el CIPAT en el capítulo 4, se puede concluir que el terreno es apto para el proyecto siempre y cuando se considere las siguientes observaciones:

- ✓ Es semipermeable, lo que implica se debe tener en cuenta una impermeabilización del terreno.

- ✓ Se tiene una buena pendiente, lo que ayudará al sistema a ser poco mecanizado, y a evitar gastos por excavación.
- ✓ El área disponible es suficiente para el proyecto, inclusive para futuras ampliaciones.
- ✓ Se cuenta con vías de acceso al terreno entregado para el proyecto.

7.2.2. Impermeabilización.

La impermeabilización de las lagunas se puede llevar a cabo ya sea con algún tipo de material (arcilla), o por recubrimientos sintéticos, en este caso se considera la impermeabilización sintética como la mejor opción.

7.2.2.1. Revestimientos sintéticos.

Las membranas sintéticas, también conocidas como geomembranas, llegan a proporcionar permeabilidades hasta del orden de 10^{-13} cm/s.

Al usar membranas sintéticas se busca generalmente eliminar totalmente las filtraciones. Así, quizá más que las propiedades en si del material sintético, la instalación de la membrana es primordial. En efecto, un desgarre o defecto local puede

conducir a filtraciones importantes, aun si el terreno subyacente es poco permeable.

7.2.2.2. Criterios de selección.

En la siguiente tabla se muestran los criterios básicos para la selección del recubrimiento sintético a utilizar.

1.	Alta resistencia a la tensión, flexibilidad y elongación sin falla
2.	Resistencia a la abrasión, al punzonamiento y a los efectos de agua de desecho.
3.	Buena resistencia al intemperismo
4.	Inmunidad al ataque de bacterias y hongos
5.	Densidad >1.0
6.	Color: Negro (para resistir la acción de los rayos ultravioletas)
7.	Espesor mínimo : 0.4 mm
8.	Composición uniforme y ausencia de defectos físicos
9.	Resistencia variaciones de temperatura y a condiciones ambientales
10.	Reparación fácil
11.	Economía

Tabla 7.1. Criterios de selección para revestimientos sintéticos

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

7.2.2.3. Instalación.

La superficie del suelo estará debidamente compactada y seca, libre de rocas, objetos punzantes, desechos, escombros, u otros objetos que puedan afectar la integridad o función de las geomembranas.

La colocación de las geomembranas será realizada de acuerdo a las posiciones y niveles indicados en los planos de

diseño y de forma tal de minimizar la formación de arrugas y prevenir los dobleces y pliegues.

La colocación de la geomembrana será realizada de forma que todas las soldaduras puedan ser orientadas en el sentido de talud (perpendicularmente al borde superior de todos los taludes de los diques), esta orientación se mantendrá hasta una distancia mínima de 35 metros desde la base interna del talud del dique.

Las geomembranas serán colocadas en campo de forma de asegurar un traslape nominal de 100 mm y que en ningún caso será menor a 75 mm.



Figura 7.1. Instalación de una geomembrana para Sistemas de Lagunaje.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

7.2.3. Detalles constructivos de las lagunas.

En la construcción de las lagunas deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Desbroce
- ✓ Excavación
- ✓ Formación de terraplenes
- ✓ Preparación del fondo
- ✓ Protección de taludes

✓ ***Desbroce:***

Consiste en el corte, desenraizado de árboles, arbustos, hierbas o cualquier tipo de vegetación; y su retiro. Todo este material debe sacarse fuera de los límites de construcción del sistema de tratamiento.



Figura 7.2. Fase de desbroce para el proyecto

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

✓ **Excavación:**

Se ejecuta con el fin de obtener los niveles deseados para el fondo, así como para formar las secciones del proyecto.

La maquinaria escogida para el proyecto deberá ser aquella que permita remover material areno-arcilloso y bloques grandes de roca (permeabilidad media), producto del estudio previo del terreno.



Figura 7.3. Ejemplo de excavación para los sistemas de lagunaje.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

✓ **Formación de terraplenes:**

Es recomendable que el material empleado en los terraplenes (diques), sea de un material arcilloso que garantice la impermeabilidad de los mismos.

La pendiente de los mismos garantizará la estabilidad total de los diques, además de dejar un borde libre de al menos 1 metro en la parte superior de los diques.

En caso de que el material producto de la excavación y desbroce no sea el adecuado, se deberá hacer una mezcla de los mismos con algún material arcilloso que permita darle características de impermeabilidad a los terraplenes.

En lagunas menores de 2 hectáreas, se emplean resguardos en torno a 0,5 m, mientras que para lagunas mayores los resguardos son del orden de 1 m.

✓ ***Preparación del fondo:***

En base a lo anterior, y a los estudios previamente analizados del terreno, se deberá considerar a parte del material arcilloso, un material impermeable artificial (membranas sintéticas o geomembranas).

✓ ***Protección de taludes:***

Por lo general se utiliza material pedroso o baldosa que permita proteger los diques contra la erosión ocasionada por las olas y contra el crecimiento de las plantas y raíces en la zona donde logra penetrar la luz solar.

Los taludes interiores se construyen con un máximo de 3:1 (horizontal-vertical) para las facultativas y de maduración.

Estos taludes deben ir protegidos contra la erosión que provoca el oleaje que se genera en las lagunas por acción del viento, especialmente en la zona comprendida 30 cm por encima y por debajo del nivel de agua.



Figura 7.4. Modo de protección de los taludes.

Fuente: Centa. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS [3]

7.2.4. Tuberías e interconexiones.

Las tuberías y los canales se diseñarán con los mismos criterios que se siguen para sistemas de alcantarillados.

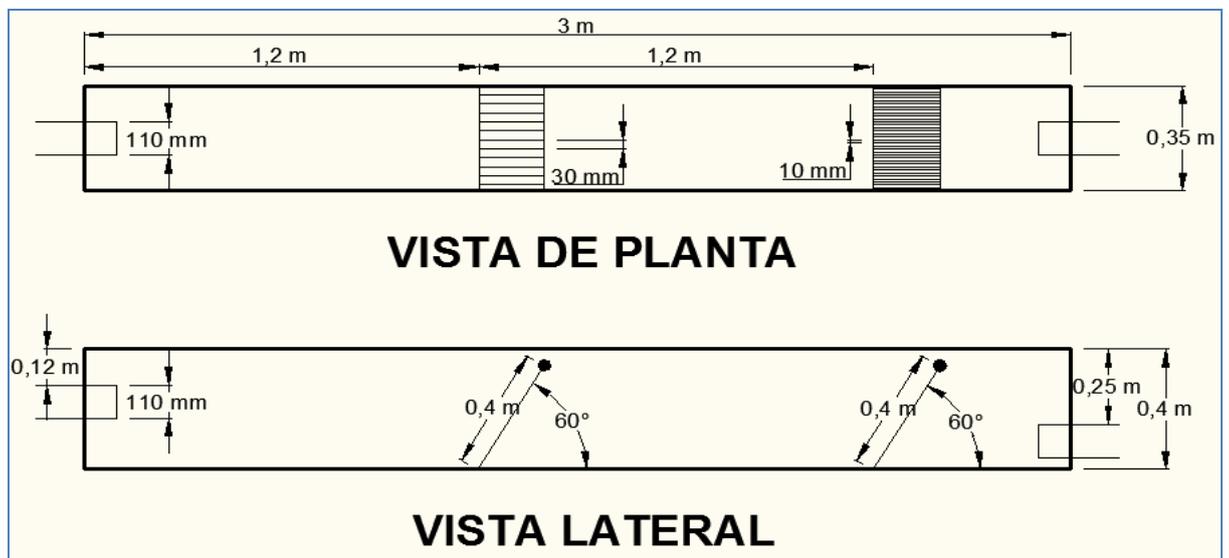
La velocidad de flujo del agua en las tuberías debe estar por debajo de 0.5 m/s, con el fin de evitar depósitos y acumulación de sedimentos [2].

Para lo cual se utilizará en base al análisis del caudal medio, un diámetro de tubería de 110 mm y hecho de un material resistente a los efectos adversos.

El caudal mencionado deberá ser medido en cada etapa del tratamiento una vez construido, por lo que se construirán vertederos a la salida de cada una de las etapas, así como de vertederos auxiliares que serán utilizados en caso de mantenimiento preventivo o correctivo de alguna de las etapas del sistema de tratamiento.

7.3. Elaboración de planos esquemáticos.

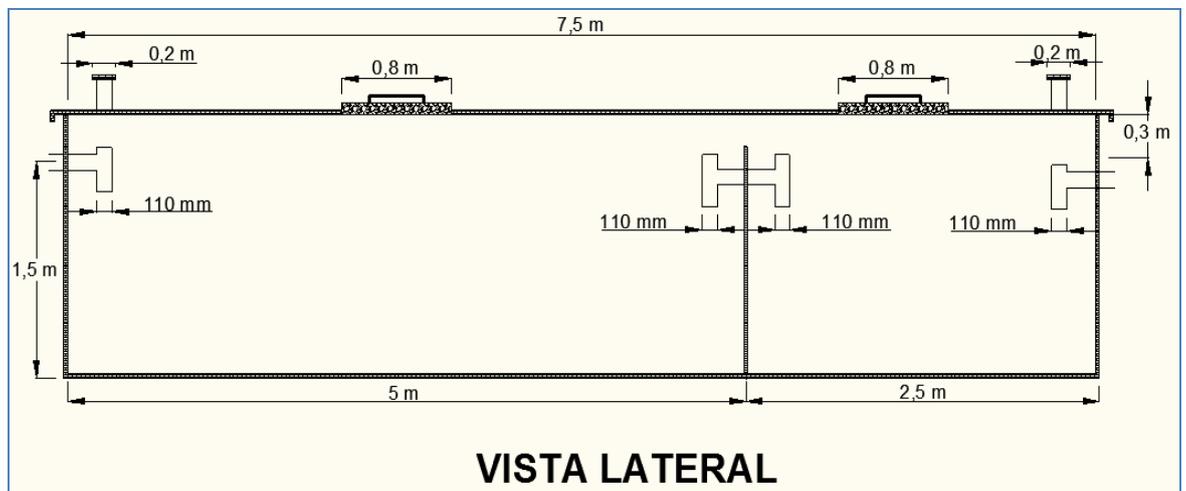
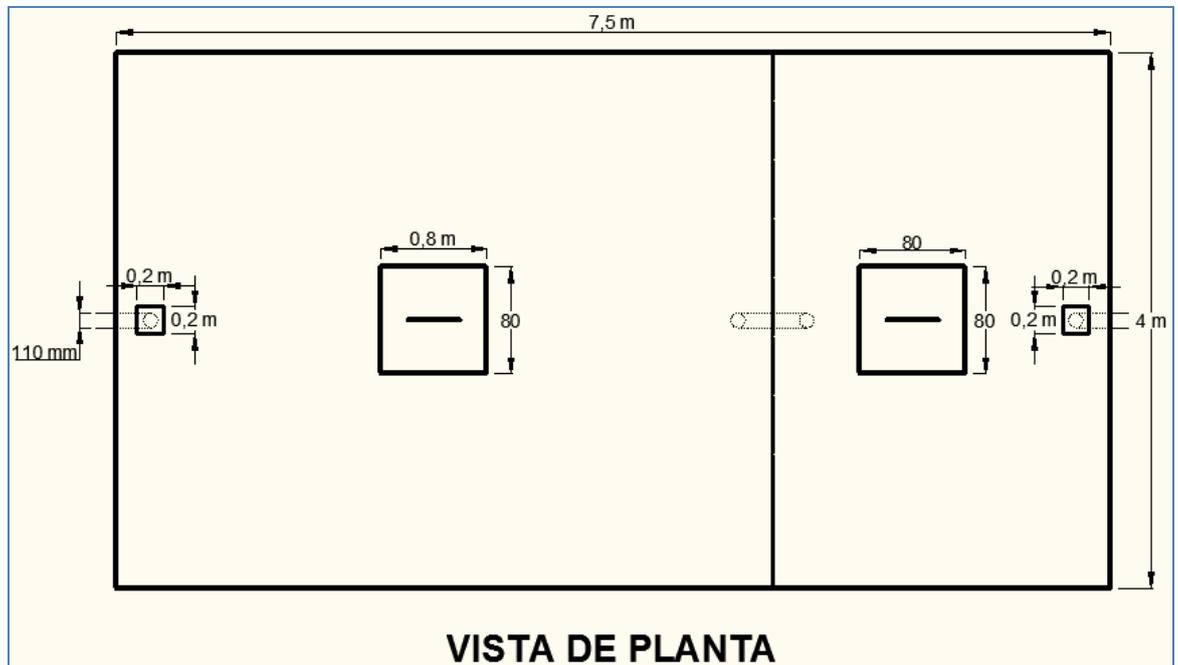
✓ *Canal de Desbaste:*



Plano 7.1. Diseño conceptual del Canal de desbaste

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

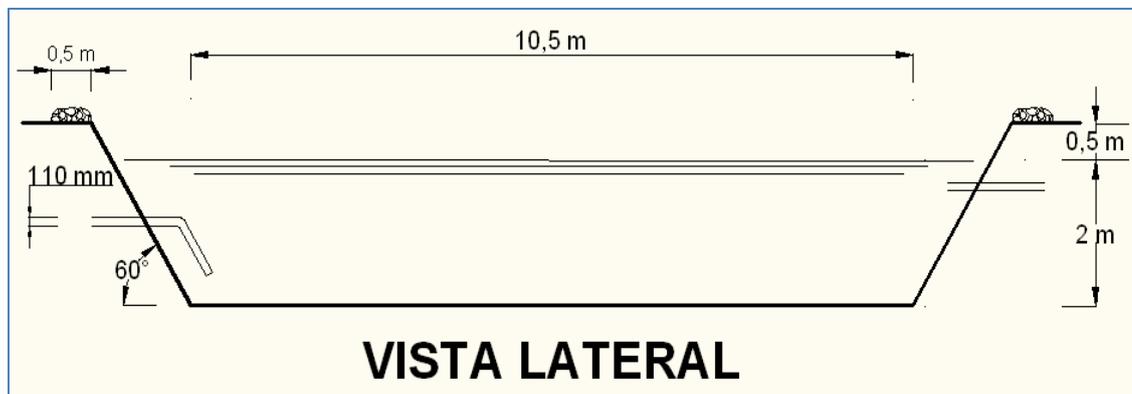
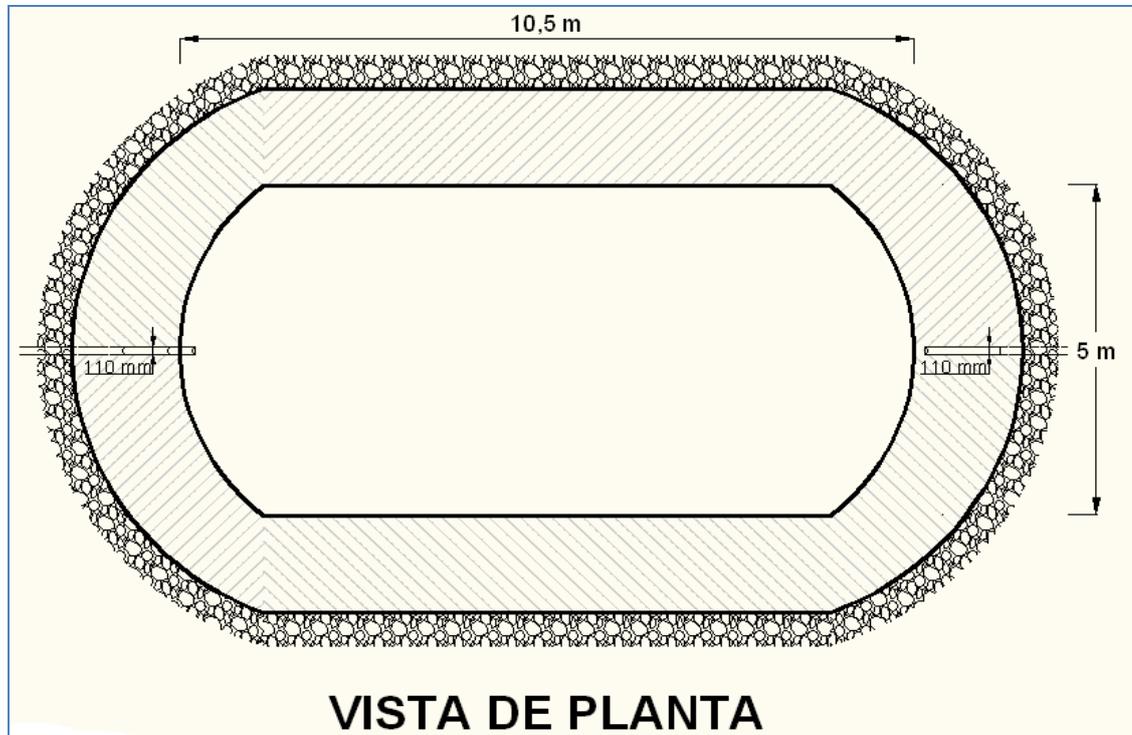
✓ **Fosa Séptica:**



Plano 7.2. Diseño conceptual de la Fosa Séptica.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

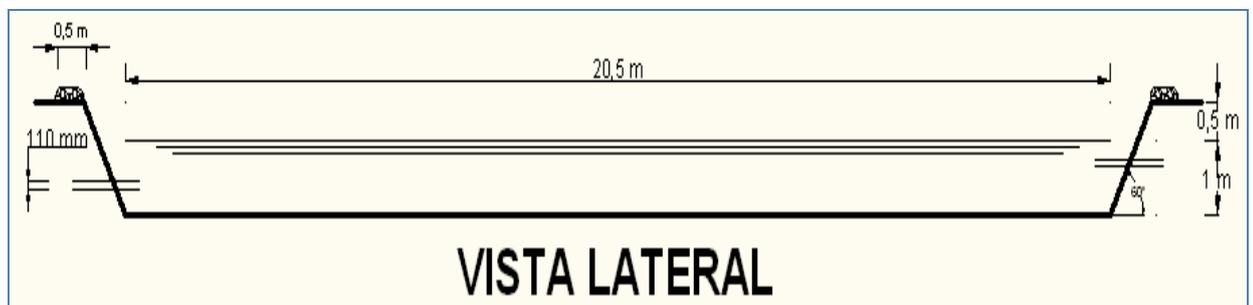
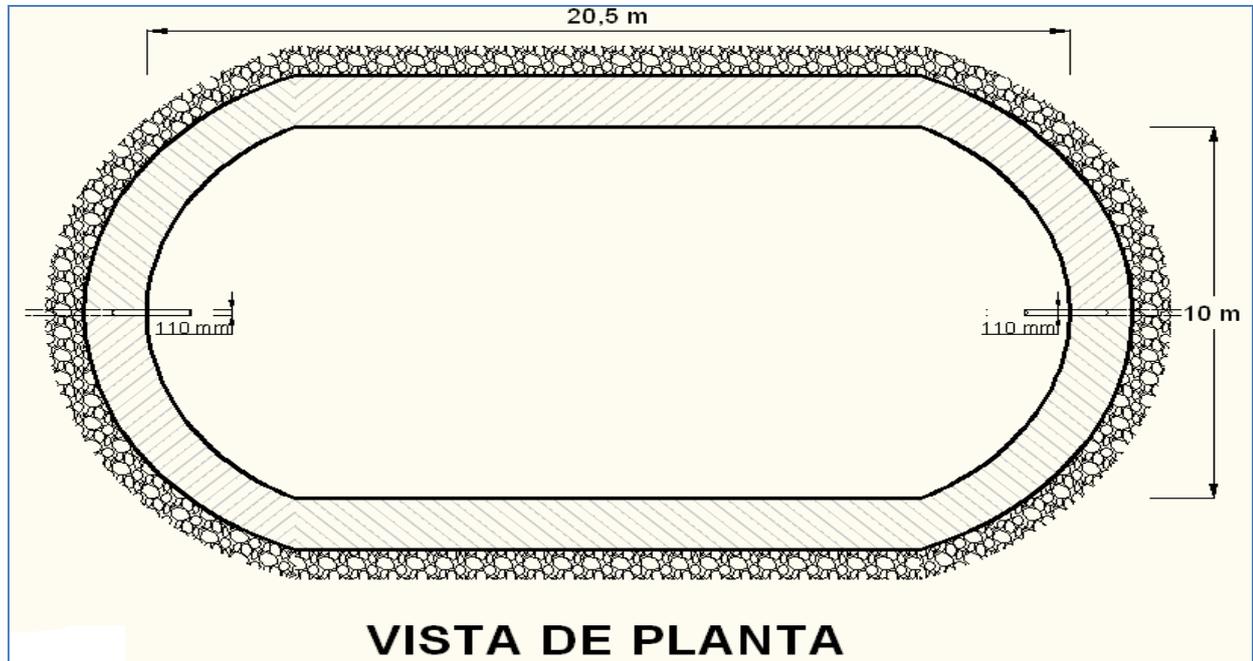
✓ **Laguna Facultativa:**



Plano 7.3. Diseño conceptual de la Laguna Facultativa.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

✓ **Laguna de Maduración:**



Plano 7.4. Diseño conceptual de la Laguna de Maduración.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

CAPÍTULO 8

8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

8.1. Arranque del sistema.

Similar a cualquier proceso biológico, ninguna laguna funciona en el momento de su arranque con la eficiencia de diseño. Se necesita un período de pulimento que depende de la temperatura, características del agua residual, y sobre todo, del buen desarrollo de la población biológica, entre otros factores.

8.2. Laguna facultativa y maduración.

En una laguna facultativa, el crecimiento de las algas no se establece tan rápidamente como la población de bacterias de las lagunas aireadas, por lo que el periodo de aclimatación es mayor.

Por su gran área se recomienda dividir temporalmente la laguna en secciones mediante la construcción de uno o dos diques de tierra con una altura no mayor de 50 cm, los cuales se colocan a lo ancho.

Se llena la primera sección en pocos días y el agua residual se derrama sobre el dique permitiendo que se llene la siguiente sección hasta su altura de diseño.

Esta medida permite que el fondo de la laguna selle, más rápido y previene el crecimiento de plantas acuáticas.

El arranque de las lagunas de pulimento es similar al de las lagunas facultativas, llenándose gradualmente con la construcción de diques temporales.

8.3. Monitoreo y caracterización de las aguas

En los sistemas lagunares la observación de la coloración y apariencia del agua proporcionan datos importantes sobre las condiciones generales del proceso y ayudan a pronosticar un cambio en el comportamiento del sistema.

Los colores que comúnmente se encuentran son los siguientes:

- Verde oscuro. Indica que la laguna está operando normalmente.
- Verde denso. Indica un crecimiento excesivo de algas.
- Verde lechoso. Indica que ha comenzado el proceso de autofloculación.
- Azul-verde. Indica la presencia de algas cianofitas.

- Verde-amarillento o blanquecino. Indica que inició el proceso de acidificación de la laguna.
- Café-amarillento o pardo. Es causado por el crecimiento excesivo de rotíferos o de crustáceos microscópicos como la pulga de agua.
- Rosada. Se presenta ocasionalmente en las lagunas de pulimento debido a las mismas causas que el color café-amarillento.
- Rojizo. Puede indicar la presencia de bacterias reductoras de azufre y, por lo tanto, condiciones anaerobias.
- Gris. Generalmente, se presenta cuando la laguna ha sido sobrecargada con materia orgánica y/o el tiempo de retención es tan corto que no se obtiene la completa estabilización.
- Negro con presencia de materia flotante. Indica una rápida degradación de los lodos del fondo provocado por cambios en la composición del agua residual o por sobrecarga.

La emisión de malos olores normalmente es causada por sobrecarga de la laguna, el aumento repentino en la carga orgánica, los cambios en la composición del agua residual o el desarrollo de condiciones anaerobias.

En los sistemas parcialmente mezclados, en donde se limita la agitación del medio, se desarrollan condiciones anaerobias en los lodos del fondo y su aspecto común es cercano al séptico con un color gris oscuro.

El número de muestras a coleccionar, el tipo de análisis y la ubicación de los puntos de muestreo son los aspectos relevantes para obtener la información cuantitativa sobre la operación. Esta información junto con la cualitativa sirve para ejecutar una evaluación completa y el correcto control de la operación de las lagunas de acuerdo a los límites permisibles para la reutilización del agua en riego.

8.3.1. Localización de muestreos

El control de un proceso de tratamiento se basa en la medición de parámetros de calidad del agua. Los más significativos para este sistema son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), grasas y aceites (G y A), coliformes fecales (CF), nitritos (N-NO_2), nitratos (N-NO_3), nitrógeno amoniacal (N-NH_4), fosfatos (P-PO_4).

Para el análisis de las aguas, según su reutilización en riego, es necesario tener datos de Dureza, Alcalinidad, Sodio y Cloruros. Con el fin de determinar el índice RAS y la Salinidad, para definir la influencia de estas aguas, con la permeabilidad del suelo a ser regado.

$$RAS = \frac{Na}{\left(\frac{Ca + Mg}{2}\right)^{0.5}}$$

Donde,

Na = meq/l de sodio

(Ca + Mg) = meq/l de calcio y magnesio (Dureza)

Para tomar la muestra del influente se recomienda hacerlo en la estructura anterior a la entrada de la laguna, como se muestra en la Figura 8.1.

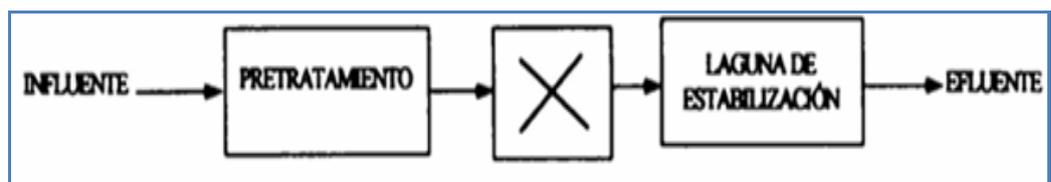


Figura 8.1. Localización de la toma de muestra del influente de la laguna.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

Debido a que el agua en las lagunas de estabilización se encuentra prácticamente en reposo, ésta presenta diferentes características dependiendo de la profundidad a la que se tome la muestra.

En las lagunas facultativas la mayor concentración de algas se presenta en los primeros 15 cm, de profundidad pero el agua tratada se encuentra a más de 30 cm de la superficie, por lo que es conveniente tomar la muestra a 50 cm.

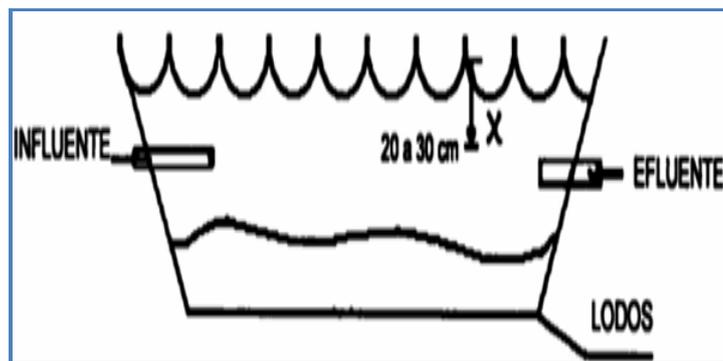


Figura 8.2. Localización de la toma de muestra en una laguna facultativa.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

Para las lagunas de pulimento la toma de muestra debe ser a 50 cm de la superficie.

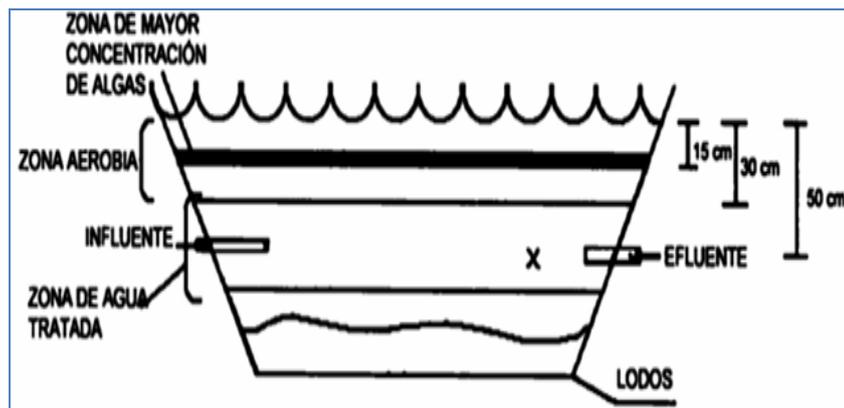


Figura 8.3. Localización de la toma de muestra en una laguna de maduración.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

En cada uno de los sitios de muestreo se toman dos alícuotas del contenido, una a 50 cm de la superficie y la segunda a las 2/3 partes de la profundidad del agua. En cada uno de estos sitios se determinarán los parámetros de campo.

Para la determinación de la acumulación de los lodos dentro de la laguna es necesario medir en sitios específicos del fondo.

8.3.2. Frecuencia de muestreos.

Los muestreos deben hacerse periódicamente, para así llevar un control de la eficiencia de los sistemas de tratamiento individuales así como el sistema de tratamiento completo.

Es aquí donde el agua tratada va a ser evaluada para, que de acuerdo al cumplimiento de la Norma, determinar su reutilización.

En la siguiente tabla se muestra los principales tipos de análisis que se deben realizar y la frecuencia de caracterización de los mismos en un periodo trimestral.

Parámetro	Unidad	Resultado				Frecuencia muestreo
		# 1	# 2	# 3	# 4	
pH	U de pH					12
Conductividad	mhos/cm					12
Oxígeno Disuelto	mgOD/l					12
DBO ₅	mgO ₂ /l					6
DQO	mgO ₂ /l					6
Turbiedad	UNT					6
Amonio	mgN-NH ₃ /l					3
Nitratos	mgNO ₃ ⁻ /l					3
Nitritos	mgNO ₂ ⁻ /l					3
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l					3
Sólidos Totales	mg ST/l					3
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l					3
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l					3
Sólidos Sedimentables	ml / l					3
Coliformes Totales	NMP/100ml					6
Coliformes Fecales	NMP/100ml					6
Dureza	mg/l					3
Alcalinidad	mg/l					3
Sodio	meq/l					3
Cloruros	meq/l					3

1: Entrada a la fosa séptica.

2: Entrada a la laguna facultativa.

3: Entrada a la laguna de maduración.

4: Entrada al reservorio.

Tabla 8.1. Frecuencia de caracterización de las aguas del Sistema de Tratamiento de aguas residuales del área de Tecnología-ESPOL

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

8.4. Mantenimiento del Sistema de Tratamiento.

Se entiende por mantenimiento la conservación en buen estado de las unidades construidas y de los sistemas colocados para asegurar un funcionamiento continuo en forma eficiente.

Existen dos tipos de mantenimiento:

- ✓ Preventivo. Se debe realizar para conservar en buen estado las instalaciones de la planta de Tratamiento asegurando su buen funcionamiento y alargando su vida útil. En este caso se establece la ejecución de rutinas de trabajo que se realizan con mayor, o menor frecuencia para prevenir desperfectos.
- ✓ Correctivo. Consiste en la reparación inmediata de cualquier daño que sufran las instalaciones. El mantenimiento de las lagunas, bordos y áreas exteriores requiere un mínimo de equipo: material de construcción, herramienta de albañilería, material de limpieza, ropa de trabajo y equipo de protección para todo el personal.

Los dispositivos que requieren, inspección y mantenimiento continuo (por lo menos una vez por semana) son: rejas, vertedores, estructuras de interconexión de entrada y salida; asimismo, se deben verificar las condiciones superficiales de la laguna.

En caso de los mantenimientos que impliquen cerrar una etapa del proceso de tratamiento, existen canales auxiliares que permiten pasar de una etapa a otra.

Para el mantenimiento o arreglo por daño de la fosa séptica se presenta, en la siguiente tabla, la hoja de cálculo correspondiente indicando la posible eficiencia del sistema cuando no opera la fosa séptica.

Tratamiento Secundario		
<i>Laguna Facultativa</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Ci (DBO ₅ influente)	315	mg/l
Ce (DBO ₅ efluente)	126	mg/l
Kc(35°C)	1,20	días ⁻¹
Tmín-agua	23,7	°C
Kc	0,48	días ⁻¹
tiempo de retención	3	días
Volumen	104	m ³
Área	52	m ²

% remoción	Efluente
SS (30%)	142
DBO ₅ (60 %)	126
N (40%)	21
P (10 %)	4
C.F (99,5 %)	5,81E+03

Tratamiento Secundario		
<i>Laguna Maduración</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Ni (C.F influente)	5806	NMP/100ml
Ne (C.F efluente)	200	NMP/100ml
Kb (20°C)	2,6	días ⁻¹
Tmín-agua	23,7	°C
Kb	4,95	días ⁻¹
tiempo de retención	6	días
Volumen	208	m ³
Área	208	m ²

% remoción	Efluente
SS (50%)	71
DBO ₅ (75 %)	32
N (50 %)	11
P (40 %)	2
C.F (99,9 %)	6

Tabla 8.2. Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la fosa séptica.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

Según la tabla 8.2. el sistema no dejaría de ser eficiente en caso que se requiera el mantenimiento de la fosa séptica.

Para el mantenimiento o arreglo por daño de la laguna facultativa se presenta, en la siguiente tabla, la hoja de cálculo correspondiente indicando la posible eficiencia del sistema cuando no opera la laguna.

Tratamiento Primario			% remoción	Efluente
Fosa Séptica	Valor	Unidad	SS (50 %)	101
Volumen	45	m ³	DBO ₅ (25 %)	236
Tiempo de retención	1,3	días	N (12 %)	31
Altura	1,5	m	P (3 %)	4
Área	30	m ²	C.F (50 %)	5,81E+05

Tratamiento Secundario			% remoción	Efluente
Laguna Maduración	Valor	Unidad	SS (50%)	51
Ni (C.F influente)	580625	NMP/100ml	DBO ₅ (75 %)	59
Ne (C.F efluente)	20000	NMP/100ml	N (50 %)	15
Kb (20°C)	2,6	días ⁻¹	P (40 %)	2
Tmín-agua	23,7	°C	C.F (99,9 %)	581
Kb	4,95	días ⁻¹		
tiempo de retención	6	días		
Volumen	208	m ³		
Área	208	m ²		

Tabla 8.3. Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la laguna facultativa.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

En la tabla 8.3. se muestran los valores referenciales en la salida del sistema, cuando deja de operar la laguna facultativa. Se observa que la remoción de la materia orgánica y la carga bacteriana es menor, lo que alteraría la calidad del agua.

Tratamiento Primario		
<i>Fosa Séptica</i>	Valor	Unidad
Volumen	45	m ³
Tiempo de retención	1,3	días
Altura	1,5	m
Área	30	m ²

% remoción	Efluente
SS (50 %)	101
DBO ₅ (25 %)	236
N (12 %)	31
P (3 %)	4
C.F (50 %)	5,81E+05

Tratamiento Secundario		
<i>Laguna Facultativa</i>	Valor	Unidad
Ci (DBO ₅ influente)	236	mg/l
Ce (DBO ₅ efluente)	95	mg/l
Kc(35°C)	1,20	días ⁻¹
Tmín-agua	23,7	°C
Kc	0,48	días ⁻¹
tiempo de retención	3	días
Volumen	104	m ³
Área	52	m ²

% remoción	Efluente
SS (30%)	71
DBO ₅ (60 %)	95
N (40%)	19
P (10 %)	4
C.F (99,5 %)	2,90E+03

Tabla 8.4. Rendimiento del sistema considerando el mantenimiento de la laguna de maduración.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

En la tabla 8.4. se muestran los valores referenciales en la salida del sistema, cuando deja de operar la laguna de maduración. Se observa que la remoción de la materia orgánica y la carga bacteriana es considerablemente baja, lo que afectaría a la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO 9

9. COSTOS.

9.1. Costos aproximados de inversión.

Para el cálculo de la inversión intervienen numerosos factores como son:

- Capacidad de la planta (población estimada del área de tecnologías).
- Tipo de sistema de tratamiento a utilizar (en este caso un Sistema de tratamiento por lagunaje).
- Costos locales de materiales y mano de obra (Unidad de Servicios Generales y Mantenimiento de la ESPOL).
- Criterios de diseño.
- Costo del terreno y ubicación geográfica.
- Accesibilidad.
- Costo de construcción y de acarreo de materiales.
- Adecuaciones por condiciones climáticas.
- Niveles de competencia.

Así mismo, es importante considerar los costos por administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos que equivalen aproximadamente a un 25 % del costo total de la inversión.

Para determinar los costos referenciales de construcción total o de inversión en el Sistema de tratamiento propuesto en Tecnologías de la ESPOL, es necesario identificar los elementos básicos que integran los costos de inversión, descritos en la siguiente tabla 9.1.

Elementos	Consideraciones
Terreno	Depende de factores como disponibilidad, tenencia de la tierra, localización, uso del suelo, y valor comercial.
Obra civil	Se considera la cantidad de material requerido por la obra en m ³ del material de construcción (concreto armado)
Sistema de tuberías	Se considera un 25 % del costo total de inversión.
Instalación eléctrica	Se considera un 10 % del costo total de inversión.
Controles e instrumentos	Se considera un 5 % del costo total de inversión.
Capital de trabajo	Fondo, que se constituye generalmente al final de la fase de instalación para cubrir los gastos exigidos por el funcionamiento de las plantas de tratamiento y garantizar así la continuidad de la operación. Principalmente se, conforma por una reserva de dinero para cumplir un los sueldos del personal mínimo necesario que opera la planta.

Tabla 9.1. Elementos básicos que integran los costos de inversión en un Sistema de Tratamiento por lagunaje.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN [2]

9.1.1. Terreno y excavación.

El costo de terreno varía mucho de una zona a otra y se deben recabar los precios en el lugar y momento preciso. En el caso del Sistema de Tratamiento en el área de Tecnologías el terreno pertenece a la ESPOL, por lo que el costo de terreno no está incluido en el costo de inversión.

Los costos de excavación varían dependiendo del tipo de suelo (blando, arcilloso y rocoso) y del área de terreno que se va a excavar.

9.1.2. Construcción.

Con respecto a las actividades asociados a la obra civil para el Sistema de Tratamiento de aguas se presenta en la Tabla 9.2. los costos aproximados por materiales de construcción, tuberías y obras auxiliares.

Ítem	Materiales	Costos
1	Obra civil	\$ 11.000
2	Sistema de tuberías	\$ 2.700
Total		\$ 13.700

Tabla 9.2. Costos aproximados de materiales de construcción.

Fuente: Costos referenciales de la Unidad de Mantenimiento de la ESPOL.

9.1.3. Impermeabilización

Para el proyecto se recomienda utilizar geomembrana de polietileno de 1mm de alta densidad.

A continuación se presenta el costo referencial obtenido de varias casas comerciales, donde se incluye la compra e instalación de la geomembrana a utilizarse en la laguna facultativa y de maduración, según las especificaciones del área a ser utilizada por las lagunas.

Ítem	Materiales	Costos
1	Geomembrana	\$ 4.000
Total		\$ 4.000

Tabla 9.3. Costo por compra e instalación de geomembrana.

Fuente: Costos referenciales de la Unidad de Mantenimiento de la ESPOL.

9.1.4. Obras auxiliares

Se deben considerar las obras que permiten una mejor operación del sistema de tratamiento como:

- Bordos e interconexiones
- Cerca perimetral
- Vialidades
- Drenaje externo

Estos costos están incluidos en los costos de materiales presentados en la Tabla 9.2.

9.2. Costos aproximados por operación y mantenimiento.

Los costos de operación y mantenimiento son los referidos al funcionamiento de una planta de tratamiento para hacer producir la capacidad instalada. Estos costos se estiman por vigencias anuales de acuerdo con las proyecciones que se establezcan.

9.2.1. Personal de mantenimiento.

Las distintas clases de personal requeridos para operar y mantener una planta de tratamiento están en función de la capacidad de la planta, la complejidad y el grado de equipamiento.

Se debe destacar que los requerimientos de personal no sólo incluyen a los operadores de la instalación, sino también a los directores responsables de emplear y distribuir el personal requerido, los técnicos y oficiales necesarios para el mantenimiento y el personal de laboratorio para supervisar las operaciones, e incluso las medidas para su entrenamiento.

Se presenta en la siguiente tabla (9.4.) los valores referenciales por pago a personal que deberá estar incluido en las actividades de operación, monitoreo y mantenimiento del Sistema de Tratamiento propuesto en este proyecto.

Ítem	Detalle	Costo anual
1	Personal de mantenimiento	\$ 1.200
2	Personal de Operación	\$ 2.500
3	Personal de Laboratorio	\$ 1.000
Total		\$ 4.700

Tabla 9.4. Costo anual aproximado por personal de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Tecnologías de la ESPOL.

Fuente: Álava Á., Cuenca I.

9.2.2. Costos por análisis y monitoreo.

De acuerdo a la Tabla 8.1. referente a los análisis trimestrales y la frecuencia, se presenta a continuación el detalle del costo aproximado anual para el control del Sistema de Tratamiento de aguas.

El Laboratorio deberá presentar los informes e interpretación de los resultados obtenidos en el monitoreo. De esta manera se llevará un control del funcionamiento del sistema.

Parámetro	Frecuencia Muestreo Trimestral
pH	48
Conductividad	48
Oxígeno Disuelto	48
DBO ₅	24
DQO	24
Turbiedad	24
Amonio	12
Nitratos	12
Nitritos	12
Fosfatos	12
Sólidos Totales	12
Sólidos Disueltos Totales	12
Sólidos Suspendidos Totales	12
Sólidos Sedimentables	12
Coliformes Totales	24
Coliformes Fecales	24
Dureza	12
Alcalinidad	12
Sodio	12
Cloruros	12
Costo Aproximado	\$ 4.500

Tabla 9.5. Costo aproximado anual por monitoreo y análisis de las aguas del Sistema de Tratamiento de Tecnologías-ESPOL.

Fuente: Laboratorio de Aguas –ICQA.

De acuerdo al análisis realizado del costo de la Implementación de un sistema de Tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnologías de la ESPOL, por construcción, Operación y Mantenimiento; el monto total de inversión aproximado para el primer año es de **\$ 26.900,00**

CONCLUSIONES

La investigación desarrollada en este proyecto, tiene como objetivo principal, el diseño conceptual de un sistema de tratamiento para la construcción de una planta depuradora, cuyos efluentes serán reutilizados en el riego de las áreas verdes de la ESPOL, para esto se analizaron varias alternativas de tratamiento, habiéndose escogido el sistema de lagunaje por ser el más económico para su mantenimiento, y el de mayor eficiencia en la remoción de organismos patógenos.

El proceso para la Evaluación del Sistema de Tratamiento, comenzó con la caracterización de las aguas residuales procedentes del área de Tecnologías. Se tomaron muestras compuestas durante 6 meses, y se analizaron los parámetros más representativos a ser utilizados en el diseño final. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas del ICQA, utilizando los métodos recomendados por el Standard Methods APHA-AWWA-WPCF (Métodos Normalizados – Para el análisis de aguas potables y residuales).

Analizando los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua a tratar, se pudo observar un aumento en los valores de los parámetros de diseño en los meses de mayo, junio y julio, esto es debido al inicio de clases y actividades en el área de Tecnologías.

Por esto, se decidió trabajar con los valores promedios de los parámetros de diseño, medidos desde enero hasta julio del presente año, considerando además un factor de seguridad de 1,25 tomando en cuenta las variaciones a la cual operaría el sistema.

El análisis de la carga en base a la relación entre la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno ($DBO_5/DQO = 0,48$), indica que el agua a tratar es biodegradable, por lo que se posibilita el empleo de lagunas de oxidación mediante tratamiento biológico.

Sabiendo las características de las aguas a tratar, las condiciones climáticas, disponibilidad del terreno y el tipo de suelo, se procedió a analizar las diversas alternativas de diseño, y se concluyó que la mejor alternativa de diseño fue el Sistema de Tratamiento compuesto por: canal de desbaste, fosa séptica, laguna facultativa, laguna de maduración y un reservorio.

En el diseño conceptual del Sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizó para la laguna Facultativa el modelo de mezcla completa y cinética de primer orden, trabajando con la temperatura más baja del agua. Para la laguna de Maduración se trabajó con la ecuación de Marais, utilizando la temperatura media del agua. La aplicación de estas fórmulas nos permitió realizar el diseño conceptual del sistema tomando en cuenta las condiciones iniciales de pre-tratamiento y tratamiento primario, además de las condiciones climáticas.

El Sistema de Tratamiento de aguas residuales propuesto, abarca en conjunto un área total de 1000 m².

El sistema de lagunaje diseñado, no requiere altos costos de operación y mantenimiento a corto plazo comparado con otros Sistemas de Tratamiento de aguas residuales, siendo las necesidades de mano de obra, solventadas por personal de Mantenimiento de la ESPOL.

El gasto anual de \$24.250 aproximadamente, por consumo de agua potable en riego de áreas verdes de la ESPOL, exige la implementación de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales, que permita reutilizar el agua derivando un ahorro significativo para la ESPOL.

El análisis económico del proyecto indica que la inversión aproximada para la implementación del Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el área de Tecnologías es de \$26.900,00 que comparado con el gasto anual de \$24.250,00 por consumo de agua potable, se concluye que para el primer año se recupera la inversión.

RECOMENDACIONES

1. La Evaluación del Sistema de Tratamiento no implicó el tratamiento de los lodos generados en cada etapa del proceso, por lo que se recomienda un estudio complementario de los lodos, para la implementación adecuada de un Plan de Manejo de lodos, que permita reutilizarlo como compost u otros fines sostenibles.
2. Para un adecuado funcionamiento del Sistema de Tratamiento de aguas residuales se recomienda el mantenimiento preventivo de cada una de las etapas de tratamiento, para lo cual se deberá utilizar las interconexiones de emergencia propuestas.
3. En la fosa séptica, la emanación de malos olores debido a la generación de sulfuro de hidrógeno, puede causar molestias a las zonas aledañas al proyecto, por lo que se recomienda el uso de estropajos metálicos en las chimeneas de ventilación que permitan atrapar los olores producidos.
4. Para evitar cualquier tipo de incidentes se recomienda cercar el área de Tratamiento, la construcción de rutas para el tránsito en el interior de la Planta y la señalización dentro y fuera de la misma.

5. Se recomienda una limpieza frecuente de algún tipo de planta o vegetación en los alrededores de las lagunas.

A N E X O S

ANEXO 1

“TABLA PARA LA CONSERVACIÓN DE MUESTRAS”

TABLA 1060.I. RESUMEN DE REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA TOMA DE MUESTRAS O MANIPULACIÓN*				
Determinación	Envase	Tamaño mínimo de la muestra <i>ml</i>	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado†
Aceite y grasas	V, calibrado, de boca ancha	1.000	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	28 d/28 d
Acidez	P, V(B)	100	Refrigerar	24 h/14 d
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerar	24 h/14 d
BOD	P, V	1.000	Refrigerar	6 h/48 h
Boro	P	100	Ninguno	28 d/6 meses
Bromuro	P, V	—	Ninguno	28 d/ 28 d
Carbono, orgánico, total	V	100	Analizar inmediatamente; o refrigerar y añadir HCl hasta pH < 2	7 d/28 d
Cianuro:				
Total	P, V	500	Añadir NaOH hasta pH > 12, refrigerar en oscuridad	24 h/14 d; 24 h si hay sulfuro
Susceptible de cloración	P, V	500	Añadir 100 g Na ₂ S ₂ O ₃ /l	Inmediato/14 d; 24 h si hay sulfuro
Cloro, dióxido	P, V	500	Analizar inmediatamente	0,5 h/N. C.
Cloro, residual	P, V	500	Analizar inmediatamente	0,5 h/inmediato
Clorofila	P, V	500	30 días en oscuridad	30 d/N. C.
COD	P, V	100	Analizar lo antes posible, o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; refrigerar	7 d/28 d
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h/48 h
Compuestos orgánicos:				
Pesticidas	V(D), revestimiento de TFE, tapadera	—	Refrigerar, añadir ácido ascórbico, 1.000 mg/l, si existe cloro residual	7 d/7 d hasta extracción, 40 d tras extracción
Fenoles	P, V	500	Refrigerar, añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	*/28 d

Determinación	Envase	Tamaño mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado†
Purgables por purga y atrapamiento	V, revestimiento de TFE, tapadera	50	Refrigerar, añadir HCl hasta pH < 2; 1.000 mg/l de ácido ascórbico si existe cloro residual	7 d/14 d
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d/28 d
Dióxido de carbono	P, V	100	Analizar inmediatamente	Inmediato/N. C.
Dureza	P, V	100	Añadir HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses/6 meses
Fluoruro	P	300	Ninguno	28 d/28 d
Fosfato	V(A)	100	Para fosfato disuelto, filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h/N. C.
Gas digestor de lodo	V, botella de gas	—	—	N. C.
Metales, en general	P(A), V(A)	—	Metales disueltos, filtrar inmediatamente, añadir HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses/6 meses
Cromo VI	P(A), V(A)	300	Refrigerar	24 h/24 h
Cobre por colorimetría*	P(A), V(A)	500	Añadir HNO ₃ hasta pH < 2, refrigerar a 4 °C	28 d/28 d
Mercurio	P, V	100	Analizar lo antes posible, o refrigerar	48 h/48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato	P, V	200	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	Ninguno/28 d
Nitrato + nitrito	P, V	100	Analizar lo antes posible, o refrigerar	Ninguno/28 d
Nitrito	P, V	500	Analizar lo antes posible o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2, refrigerar	7 d/28 d
Nitrógeno: Amoníaco	V	500	Analizar lo antes posible, refrigerar	6 h/N. C.
Olor Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	Refrigerar; añadir H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	7 d/28 d
Oxígeno, disuelto: Electrodo Winkler	V, botella BOD	300	Analizar inmediatamente Puede retrasarse la titulación tras la acidificación	0,5 h/inmediato 8 h/8 h

TABLA 1060.I. Continuación*

Determinación	Envase	Tamaño mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado†
Ozono	V	1.000	Analizar inmediatamente	0,5 h/N. C.
pH	P, V	—	Analizar inmediatamente	2 h/inmediato
Sabor	V	500	Analizar lo antes posible; refrigerar	24 h/N. C.
Salinidad	V, sello de lacre	240	Analizar inmediatamente o emplear sello de lacre	6 meses/N. C.
Silice	P	—	Refrigerar, no congelar	28 d/28 d
Sólidos	P, V	—	Refrigerar	7 d/2-7 d; ver referencia citada
Sulfato	P, V	—	Refrigerar	28 d/28 d
Sulfuro	P, V	100	Refrigerar; añadir 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 ml; añadir NaOH hasta pH > 9	28 d/7 d
Temperatura	P, V	—	Analizar inmediatamente	Inmediato/inmediato
Turbidez	P, V	—	Analizar el mismo día; guardar en oscuridad hasta 24 horas, refrigerar	24 h/48 h
Yodo	P, V	500	Analizar inmediatamente	0,5 h/N. C.

* Véase el texto para más detalles. Para las determinaciones no reseñadas, emplear envases de vidrio o plástico; refrigerar preferentemente durante su conservación y analizar lo antes posible. Refrigerar = conservar a 4 °C, en la oscuridad. P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = lavado con 1 + 1 HNO₃; V(B) = vidrio, borosilicato; V(D) = vidrio, lavado con disolventes orgánicos; N. C. = no consta en la referencia citada; inmediato = analizar inmediatamente, conservación no permitida.

† Environmental Protection Agency, Rules and Regulations, *Federal Register* 49; núm. 209, 26 de octubre, 1984. Véase esta referencia para posibles diferencias relativas a requerimientos.

ANEXO 2

“DETERMINACIÓN DEL PH”

1. REFERENCIA.

Método APHA 4500 H⁺ - B: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1.EQUIPOS

- pH-metro ó multiparámetro
- Balanza analítica

2.1.2.MATERIALES

- Vasos de precipitados de 100 ml

2.1.3. REACTIVOS

- Solución Tampón pH 4,00
- Solución Tampón pH 7,00
- Solución Tampón pH 10,00

2.2. CALIBRACIÓN

La calibración debe realizarse cada vez que se ponga el equipo en funcionamiento.

Sumergir el electrodo en un vaso de 100 ml que contenga aproximadamente 50 ml de la disolución Tampón de pH: $7,00 \pm 0,02$.

Cuando el equipo lo requiera posicionar el siguiente tampón previa limpieza del electrodo. Lavándolo con agua destilada y secándolo con papel secamanos.

Sumergir el electrodo en otro vaso de 100 ml que contenga aproximadamente 50 ml de la solución Tampón de pH= $4,00 \pm 0,02$.

Terminada la calibración retirar el electrodo y volverlo a lavar con agua destilada y secarlo con papel secamanos.

Sumergir el electrodo en un vaso de 100 ml, que contenga aproximadamente 50 ml de la disolución tampón de pH = 10,014 o el volumen adecuado para poder introducir los electrodos. Terminada la lectura retirar el electrodo y volverlo a lavar con agua destilada y secarlo con papel secamanos.

2.3. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Poner el vaso de precipitado que contenga la muestra encima de un agitador magnético, con el fin de que la muestra esté homogeneizada durante la medida. Introducir los electrodos y esperar (15 – 30 segundos). En caso del multiparámetro, medir en sitio.

2.4. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de medidas de patrón se admitirá una variación de pH de $\pm 0,1$ unidades de pH.

ANEXO 3

“DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD”

1. REFERENCIA

Método APHA 2510-B: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Conductímetro ó multiparámetro

2.1.2. MATERIALES

- Vasos de precipitados de 100 ml
- Matraces aforados de 100 ml

2.1.3. REACTIVOS

- Cloruro potásico del 99,5 % de riqueza
- Agua destilada de conductividad

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. SOLUCIÓN DE CLORURO POTÁSICO NORMALIZADA 0.1N

Se disuelven $0,7456 \pm 0,0005$ g de KCl anhidro en un vaso de precipitado de 100 ml con 50-60 ml de “agua de conductividad”. Y se pasa a un matraz aforado de 100 ml. Se lava bien el vaso, añadiendo 20-30 ml de 2 a 3 veces

agua destilada y se pasa al matraz. Enrasar el matraz hasta el volumen indicado de 100 ml.

Esta es la solución normalizada de referencia la cual a 25°C, tiene una conductividad de 12900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2.2. SOLUCIÓN DE CLORURO POTASICO 0,01 N.

Tomar con una pipeta aforada de 10 ml. De solución normalizada de 0,1 N. Verterla en un matraz aforado de 100 ml. Enrasar el matraz con agua destilada hasta el aforo. Esta solución tiene una conductividad de 1410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C.

2.3. CALIBRACIÓN

La calibración debe realizarse cada vez que se ponga el equipo en funcionamiento.

Lavar la célula perfectamente con agua destilada, retirando la funda y limpiando el electrodo con agua sumergiéndolo en un vaso de precipitado y secándolo posteriormente con un papel suave. Se tapa los electrodos y se enjuagan con agua destilada antes de efectuar la medición.

Seguir las instrucciones del conductímetro correspondiente para la calibración. Una vez calibrado el conductímetro, se medirán la conductividad de los patrones preparados. Se posiciona el electrodo en el vaso hasta cubrir la célula y se espera a que se establezca la lectura.

2.4. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Lavar la célula perfectamente con agua destilada, retirando la funda y limpiando el electrodo con agua sumergiéndolo en un vaso de precipitado y secándolo posteriormente con un papel suave.

A continuación se pone la muestra en un vaso de precipitado de 100 ml (o volumen necesario para introducir el electrodo). Poner el vaso de precipitado que contiene la muestra encima de un agitado magnético, con el fin de que la muestra se homogenice durante la medida. Se posiciona el electrodo en el vaso que contiene la muestra con un volumen necesario para que cubra la célula y se espera a que se establezca la lectura. Medir la temperatura de la muestra. En caso de multiparámetro, medir en sitio.

2.5. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El equipo da directamente las lecturas en $\mu\text{S}/\text{cm}$ o mS/cm .

2.6. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5 %, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5 %.

En caso del patrón de control, se tomará como correcto que no exista una desviación mayor del 0%.

ANEXO 4

“DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO”

1. REFERENCIA

Método APHA 4500 O-G: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Medidor de OD ó multiparámetro

2.1.2. MATERIALES

- Vasos de precipitados de 100 ml
- Medidor de % de saturación

2.2. CALIBRACIÓN

La calibración debe realizarse cada vez que se ponga el equipo en funcionamiento.

Lavar la célula perfectamente con agua destilada, limpiando con agua sumergiéndolo en un vaso de precipitado y secándolo posteriormente con un papel suave antes de la medición.

Seguir las instrucciones del medidor de OD correspondiente para la calibración.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Lavar la célula perfectamente con agua destilada, retirando la funda y limpiando el electrodo con agua sumergiéndolo en un vaso de precipitado y secándolo posteriormente con un papel suave.

A continuación se pone la muestra en un vaso de precipitado de 100 ml (o volumen necesario para introducir el electrodo). Poner el vaso de precipitado que contiene la muestra encima de un agitado magnético, con el fin de que la muestra se homogenice durante la medida. Se posiciona el electrodo en el vaso que contiene la muestra con un volumen necesario para que cubra la célula y se espera a que se establezca la lectura. Medir la temperatura de la muestra. En caso de multiparámetro, medir en sitio.

2.4. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El equipo da directamente las lecturas en mg/l ó % saturación.

2.5. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5 %, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5 %.



pH-metro



Conductímetro



Multiparámetro

ANEXO 5

“DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ”

1. REFERENCIA

Método APHA Estándar 2130-B: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Turbidímetro.

2.1.2. MATERIALES

- Frascos de medición.

2.1.3. REACTIVOS

- Estándares varios (unidades NTU)

2.2. CALIBRACIÓN

Una vez encendido el equipo, la calibración se realiza colocando varios patrones ya estandarizados.

Es importante tener el cuidado de limpiar bien los tubos antes de colocarlos en el turbidímetro.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tomar el volumen apropiado en el frasco de medida y obtener la lectura directamente del equipo.

2.4. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomara como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5% en caso de que fuera mayor se realizara un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomara como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5%, en caso de que los tres datos sean muy dispares, el analista se lo notificara al jefe de área para que tome las acciones oportunas



Turbidímetro

ANEXO 6

“DETERMINACIÓN DE DBO₅”

1. REFERENCIA

Método APHA 5210-B: Métodos normalizados para aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. NEUTRALIZACIÓN

Llevar el pH entre 6.5 y 7.5 mediante el uso de ácido sulfúrico 0.1N o hidróxido de sodio 0.1N según sea necesario, el volumen añadido de ácido o base no deberá ser mayor al 0.5% del volumen de la muestra, si es necesario utilice soluciones más concentradas.

3. DESCRIPCIÓN

3.1. EQUIPOS Y MATERIALES

3.1.1. EQUIPOS

- Manómetro con botella para medir DBO₅.

3.1.2. REACTIVOS.

- Ácido clorhídrico 0.1N
- Hidróxido de sodio 0.1N

3.2. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se introduce el volumen de muestra apropiado, según la escala predeterminada. Para lecturas de DBO₅ mayores a 900-950 ppm se debe diluir antes.

Escala	Volumen de muestra
A: 0-1000 mg O ₂ / l	100ml
B: 0-600 mg O ₂ / l	150ml
C: 0-250 mg O ₂ / l	250ml
D: 0-90 mg O ₂ / l	400ml

3.3. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados están dados directamente desde el manómetro y se expresa como ppm o como mg O₂/l durante 5 días a 20°C.

En el caso de haber usado una carga bacteriológica, el resultado que nos dé el blanco se lo resta del resultado que nos de la muestra y ese es nuestro verdadero de DBO₅.



Botellas y manómetro de DBO



Sistema para la incubación
DBO (5 Días)

ANEXO 7

“DETERMINACIÓN DE DQO”

1. REFERENCIA

Método APHA 5220 D: Métodos normalizados para aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN

2.1. Equipos y materiales

2.1.1. EQUIPOS

- Reactor de DQO para calentar durante 2 horas a $150 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Espectrofotómetro para medir a 600 nm con adaptador de tubos.

2.1.2. MATERIALES

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1 / Muestra	Pipeta graduada de 2 ml. Clase A.
2	Matraces aforados de 50 ml. Clase A
1	Pipeta aforada de 5 ml. Clase A.
1	Pipeta aforada de 10 ml. Clase A.
1	Pipeta graduada de 10 ml. Clase A.
1	Matraz aforado de 100 ml. Clase A.

2.1.3. REACTIVOS.

- Kits de tubos para la DQO DE 100 - 1500 mg/l.
- F-talato ácido de potasio.
- Ácido sulfúrico al 96%.

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. PATRÓN DE 5000 mg/l DE DQO

Pesar $0,425 \pm 0,0005$ g de f-talato de hidrógeno de potasio (previamente secado a $105 \pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas) en un vaso de precipitados de 100 ml.

Disolver con agua destilada y enrasar a 100 ml en matraz aforado. Esta solución es estable hasta 3 meses cuando se congela en ausencia de crecimiento biológico visible o una semana a 4°C .

2.2.2. PREPARACIÓN DE LOS PATRONES DE CONTROL.

Patrones de control 1 y 2:

mg DQO/l	200	800
Patrón de 5000 mg/l (ml)	2	8
Enrasar a: (ml)	50	50

2.3. TOMA DE MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO.

Preferiblemente, recójense las muestras en frascos de cristal. Ensáyense las muestras inestables sin demora. Si es inevitable el retraso antes del análisis, consérvese las muestras por acidificación a un $\text{pH} \leq 2$ utilizando H_2SO_4 conc.

2.4. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Medir la conductividad de la muestra, si la conductividad es mayor de 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no se realizará este ensayo. En caso de que sea menor de 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguir lo indicado a continuación:

Añadir 2 ml de muestra en el tubo o una fracción diluida. Prepárense, digiéranse y enfríense las muestras, el blanco y uno o más patrones. Inviértanse las muestras enfriadas, el blanco y los patrones varias veces y déjese que los sólidos se depositen antes de medir la absorbancia.

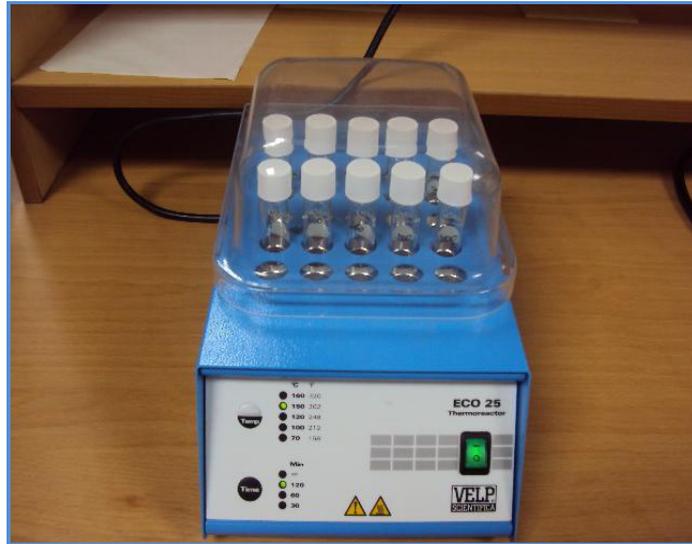
Quítense los sólidos que se adhieren a la pared del envase mediante golpes suaves. Insértese el tubo o la ampolla cerrada a través de la puerta de acceso en la trayectoria de la luz del espectrofotómetro ajustado a 600 nm. Léase la absorbancia y compárese con la curva de calibración. Si la absorbancia de la muestra es mayor que la del último patrón, repetir el ensayo con una fracción más diluida, teniendo en cuenta que como máximo se podrá realizar una dilución con factor 20.

2.5. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El resultado de DQO se obtiene directamente de la curva de calibrado. El analista anota los datos necesarios en el libro de resultados.

2.6. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO.

En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre las dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5 %, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomara como resultado el valor medio de los dos valores cuya desviación sea inferior al 5 %.



Sistema de digestión DQO



Viales para DQO

ANEXO 8

“DETERMINACIÓN DE NITRATOS”

1. REFERENCIA

Método APHA Estándar 4500-NO₃⁻ –B: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Espectrofotómetro para uso a 420 nm, equipado con cápsula de cuarzo.
- Estufa con rango de temperatura hasta 105°C o mayor.
- Balanza Analítica con precisión de $\pm 0,0001$ g.
- Granatario de rango de pesada de 1 Kg $\pm 0,1$.
- Cronómetro o reloj con avisador. Precisión ± 5 s.
- Conductímetro rango de 0-20.000 μ S/cm.

2.1.2. REACTIVOS

- Salicilato sódico.
- Ácido sulfúrico concentrado 96% d=1,84 con 0,001 de impureza.
- Hidróxido sódico del 97% en lentejas.
- Tartrato doble de sodio y potasio.
- Nitrato potásico anhidro del 99% de pureza.

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS.

2.2.1. SOLUCIÓN DE SALICILATO SÓDICO AL 5%.

Pesar $1,25 \pm 0,005$ g de salicilato sódico en un vaso de precipitado de 25ml.

Disolver con agua destilada (5-10 ml) ayudado por agitación con una varilla.

Verter el contenido en un matraz aforado de 25 ml. Lavar reiteradamente el vaso (tres veces) y varilla con pequeñas cantidades de agua destilada.

Aforar con agua destilada hasta el enrase señalado en el matraz.

Preparar antes de usar.

2.2.2. SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO SÓDICO Y TARTRATO DOBLE DE SODIO Y POTASIO.

Pesar en un vaso de precipitado de 500 ml, 200 ± 1 g de hidróxido sódico en el granatario. Pesar en otro vaso de precipitado del 250 ml, $30 \pm 0,5$ g de tartrato doble de sodio.

Disolver ambas sales en agua (70-80 ml) y pasar la disolución a un matraz aforado de 500 ml. Lavar ambos vasos con pequeñas porciones de agua destilada (3 veces con 40-50 ml) y añadir los lavados al matraz aforado. Dejar enfriar y una vez frío aforar hasta el enrase del matraz.

Guardar en botella de plástico. Preparar cada dos meses.

2.2.3. SOLUCIÓN MADRE DE NITROGENO NÍTRICO DE 100 mg/l.

Pesar $0,722 \pm 0,0005$ g de nitrato potásico anhidro (secado a 105°C durante 2 horas) en un vaso de precipitado de 100 ml. Diluir esta cantidad con agua

destilada (20-30 ml). Verter la disolución en un matraz de 1000 ml. Lavar reiteradamente (tres veces) el vaso con pequeñas cantidades de agua destilada (20-30 ml) y añadirla al matraz. Enrasar con agua destilada hasta el volumen mencionado.

2.2.4. SOLUCIÓN HIJA PATRÓN DE NITRÓGENO NÍTRICO DE 5 (mg/l).

Tomar con una pipeta aforada de 25 ml, 25 ml solución madre de 100 mg/l de nitrógeno nítrico y depositarla en un matraz aforado de 500 ml y posteriormente añadirle agua destilada hasta el enrase. Preparar antes de usar.

2.2.5. PREPARACIÓN DE PATRONES DE CONTROL

A partir de la solución patrón certificado de 5 mg/l, preparar los patrones de 1,5 y 4 mg/l en un matraz aforado de 50 ml, siguiendo lo indicado en la tabla:

Nº de vasos (Marcar el vaso con la indicación)	1,5	4
Solución patrón de nitrógeno nítrico de 5 mg/l	15	40
Agua destilada (Enrasar a:)	50	50
Correspondencia en mg/l de nitrógeno nítrico	1,5	4

En una serie de vasos de precipitados de 100 ml, poner 10 ml de patrón y 1 ml de salicilato sódico (emplear pipeta aforada).

Evaporar a sequedad en una estufa a 75-80°C, durante 24 horas.

Dejar enfriar a temperatura ambiente y tratar el residuo con 2 ml de ácido sulfúrico concentrado (medido con pipeta graduada de 2 ml) procurando que todo el residuo quede impregnado. Esperar diez \pm 1 minutos.

Con una pipeta graduada de 25 ml, se le añade 15 ml de agua destilada y 15 ml de la solución de hidróxido sódico y tartrato doble de sodio y potasio, coloreándose la disolución de un tono amarillo. Efectuar las lecturas en el espectrofotómetro a la longitud de onda de 420 nm frente a la lectura del blanco según la instrucción del espectrofotómetro correspondiente.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS.

2.3.1. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Proceder a medir la conductividad de la muestra. Si la muestra tiene una conductividad mayor de 2000 μ S/cm no se aplicará este método.

Introducir 10 ml (pipeta aforada) de agua problema en un vaso de precipitado de 100 ml. Regular el pH de la muestra hasta alcanzar un valor 5 ± 1 . Para ello añadir con un cuentagotas, pequeñas cantidades de hidróxido sódico ó ácido sulfúrico.

Añadir 1 ml (medido con pipeta aforada) de solución de salicilato sódico y proseguir el procedimiento como en el apartado 2.2.5. Efectuar las lecturas en el espectrofotómetro a la longitud de onda de 420 nm.

2.4. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Para una muestra de 10 ml, el valor leído en la curva multiplicado por 4,4 da el contenido de NO_3 expresado en mg/l.

El analista anotará los datos del ensayo así como los resultados en el libro de resultados de nitratos.

2.5. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, el analista dará como resultado bueno si la desviación entre las lecturas es inferior al 5%, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultados, se tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuya desviación sea inferior al 5%.

En caso de las determinaciones del patrón, se aceptarán los resultados cuyos porcentajes de error sean inferiores al 5%.



Determinación de Nitratos

ANEXO 9

“DETERMINACIÓN DE NITRITOS”

1. REFERENCIA

Método APHA Estándar 4500 - NO- - B: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES.

2.1.1. EQUIPOS.

- Espectrofotómetro para uso a 543 nm equipado con cápsula de cuarzo.
- Estufa con rango de temperatura hasta 105 °C o mayor.
- Balanza analítica con resolución de ± 0.0001 g.

2.1.2. MATERIALES.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
6	Matraces aforados de 50 ml. Clase A
2	Pipetas aforadas de 25 ml. Clase A.
1	Pipeta aforada de 10 ml. Clase A.
1	Pipeta aforada de 2 ml. Clase A.
7	Matraces erlenmeyer de 100 ml. Clase A.

2.1.3. REACTIVOS

- Agua destilada.
- Permanganato potásico.
- Oxalato de sodio.

- Amoníaco del 25% de riqueza.
- Ácido clorhídrico al 37%.
- Nitrito sódico.
- Sulfanilamida.
- Ácido fosfórico al 85%.
- N-(1-naftil)-etilendiamina diclorhidrato.

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS.

2.2.1. SOLUCIÓN MADRE DE NITRITO DE 250 ppm

Disolver $1,232 \pm 0,0005$ g de NaNO_2 (secado a 105°C durante al menos 2 horas) en agua y diluir hasta 1000 ml. Esta disolución tiene una concentración de 250 mg N/l.

2.2.2. SOLUCIÓN INTERMEDIA DE NITRITO DE 50 ppm

Tomar 50 ml de solución madre de nitrito y enrasar con agua destilada a 250 ml en matraz aforado. Prepárese diariamente. Esta disolución tiene una concentración de 50 mg N/l.

2.2.3. SOLUCIÓN PATRÓN DE NITRITO DE 0,5 ppm

Diluir 10,00 ml de solución intermedia de nitrito a 1000 ml con agua. Preparar diariamente. Esta disolución tiene una concentración de 0,5 mg N/l.

2.3. CALIBRACIÓN

A partir de la solución patrón de nitrito de 0,5 mg/l, preparar las diluciones de 0,02 a 0,2 mg/l en matraces aforados de 50 ml.

Marca de los matraces	B	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2
Solución patrón de nitrito de 0,5 mg/l (ml)	0	2	4	6	8	10	20
Agua destilada. Enrasar a: (ml)	50	50	50	50	50	50	50
Reactivo colorante (ml)	2	2	2	2	2	2	2
Correspondencia en mg N/l	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2

Entre 10 minutos y 2 horas después de añadir el reactivo colorante, se mide la absorbancia a 543 nm frente a blanco de agua destilada-reactivo.

Construir la curva de calibración representando la concentración de los patrones frente a la lectura fotométrica obtenida.

2.4. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomara como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5% en caso de que fuera mayor se realizara un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomara como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5%, en caso de que los tres datos sean muy dispares, el analista se lo notificara al jefe de área para que tome las acciones oportunas.



Determinación de Nitritos

ANEXO 10

“DETERMINACIÓN DE AMONIO”

1. REFERENCIA

Método APHA Estándar 4500-NH₃ – C: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Espectrofotómetro UV/VIS para uso a 425 nm.
- Balanza Analítica con resolución de $\pm 0,0001$ g

2.1.2. REACTIVOS

- Agua destilada
- Cloruro amónico con riqueza del 99%
- Reactivo de Nessler.
- Tartrato doble de sodio y potasio, con una riqueza del 99%

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. SOLUCIÓN TARTRATO DE SODIO Y POTASIO.

Pesar 50 g de tartrato en un vaso de 100 ml, disolver con agua destilada (50 – 60 ml) y añadir la disolución a un matraz aforado de 100 ml. Lavar el vaso con

pequeñas porciones de agua destilada y añadir los lavados al matraz. Enrasar con agua destilada.

2.2.2. SOLUCIÓN PATRÓN DE NITROGENO AMONICAL DE 1000 mg/l.

Pesar 3,8190 g de cloruro amónico en un vaso de precipitados de 100 ml. Disolver en agua destilada y añadir la disolución a un matraz aforado de 1000 ml. Lavar el vaso con varias porciones de agua destilada (50 – 60 ml) y añadir los lavados al matraz. Enrasar con agua destilada.

2.2.3. SOLUCIÓN PATRÓN DE NITROGENO AMONICAL DE 100 mg/l.

Tomar 10 ml (usar pipeta aforada) de solución patrón de nitrógeno amoniacal de 1000 mg/l y añadirlas a un matraz aforado de 100 ml. Enrasar con agua destilada.

2.2.4. SOLUCIÓN PATRÓN DE NITROGENO AMONICAL DE 10 mg/l.

Tomar 20 ml (usar pipeta aforada) de solución patrón de nitrógeno amoniacal de 100 mg/l y añadirlas a un matraz aforado de 200 ml. Enrasar con agua destilada.

2.3. CALIBRACIÓN

Calibración para muestras de aguas potables y residuales.

Marca	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5
Patrón de 10 mg/l	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25
Enrasar a:	50	50	50	50	50	50	50	50
Correspondencia en mg/l de N-NH ₃	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5

En una serie de matraces aforados de 50 ml, introducir lo siguiente:

Añadir 2 ml de reactivo de Nessler y agitar. Esperar 15 minutos y seguidamente medir la absorbancia frente a un blanco con agua destilada a una longitud de onda de 425 nm.

2.4. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tomar 50 ml de muestra (usar pipeta aforada) en un vaso de precipitado de 100 ml. Añadir dos gotas de solución de tartrato de sodio y potasio y agitar. Añadir 2 ml de reactivo de Nessler y agitar.

Esperar 15 minutos y seguidamente medir la absorbancia frente a un blanco con agua destilada a la longitud de onda de 425 nm.

2.5. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados se obtienen a partir de la curva de calibrado en mg/l de N – NH₃.

Para expresarlo como NH₄⁺ multiplicar el resultado por 1,29.

2.6. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomara como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5% en caso de que fuera mayor se realizara un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomara como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5%, en caso de que los tres datos sean muy dispares, el analista se lo notificara al jefe de área para que tome las acciones oportunas.



Determinación de Amonio

ANEXO 11

“DETERMINACIÓN DE FOSFATOS”

1. REFERENCIA

Método APHA 4500-P-E: métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17 año 1992.

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Espectrofotómetro para uso 880nm.
- Balanza analítica con resolución $\pm 0.0001g$.

2.1.2. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico al 96%
- Molibdato amónico 4-hidrato con un 99% de riqueza
- Ácido ascórbico
- Tartrato doble de antimonio y potasio medio hidratado del 98% de riqueza.
- Fosfato monopotásico anhidro con 99% de riqueza

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. ÁCIDO SULFÚRICO 5N

Dilúyanse 70 ± 1 ml de H_2SO_4 concentrado (medidos con probetas de 100 ml) en un matraz aforado de 500 ml con agua destilada. Añadir primero agua destilada al matraz 300-400 ml y lentamente añadir los 70 ml de H_2SO_4 . Enrasar a 500 ml, caduca a los 2 meses.

2.2.2. SOLUCIÓN DE TARTRATO DOBLE DE ANTIMONIO Y POTASIO

Pesar $1,3715 \pm 0,0005$ g de tartrato doble de antimonio y potasio en un vaso de precipitado de 100 ml. Disolver la sal con 40-50 ml de agua destilada. Añadir la disolución a un matraz aforado de 500 ml lavar el vaso con tres porciones de agua destilada (40-50) y añadir los lavados al matraz. Enrasar con agua destilada. Consérvase en frasco con tapón de vidrio. Caduca a los 2 meses.

2.2.3. SOLUCIÓN DE MOLIBDATO AMONIACO

Pesar 20 ± 0.05 g de molibdato amoniaco en un vaso de precipitado de 100 ml. Disolver con agua destilada (30-40 ml) y añadir la disolución a un matraz aforado de 500 ml. Lavar el vaso con tres porciones de agua destilada (20-30 ml) y añadir los lavados al matraz. Enrasar a 500 ml. Converse en frasco con tapón de vidrio. Caduca a los 2 meses

2.2.4. ÁCIDO ASCÓRBICO 0.01M

Pesar $1.76 \pm 0,005$ g de ácido ascórbico en un vaso de precipitado de 100ml. Disolver con agua destilada (20-30ml) y añadir la disolución a un matraz de 100ml. Lavar el vaso con porciones de agua destilada (5-10ml) y añadir al matraz. Enrasar a 100ml. Conservar la solución a 4°C durante una semana.

2.2.5. REACTIVO COMBINADO

Para 100ml de reactivos combinado, mézclase lo siguiente en un matraz aforado de 100ml:

- Pipeta 50ml de H_2SO_4 5N (usar pipeta aforada)
- Pipeta 5ml de solución de tartrato doble de antimonio y potasio (usar pipeta aforada)
- Pipeta 15ml de molibdato amoniaco (usar pipeta graduada)
- Pipeta 30ml de ácido ascórbico (usar pipeta aforada)

Déjense que todos los reactivos alcancen la temperatura ambiente y mezclar según el orden dispuesto. Si apareciera turbidez en el reactivo combinado, agítese y deje en reposo unos minutos hasta que desaparezca, antes de continuar. El reactivo es estable durante 4 horas.

NOTA: *el reactivo presenta un color amarillo, en caso de tener otra tonalidad rechazar el reactivo combinado y prepararlo de nuevo.*

2.2.6. SOLUCIÓN MADRE DE FOSFATO DE 50mg/l DE P-PO⁻³₄

Pesar 0,2195±0.005g de KH₂PO₄ anhidro disecado previamente en la estufa a 100±5°C durante 60±5 minutos en un vaso precipitado. Disolver con agua destilada (30-40ml) y añadir la disolución en un matraz aforado de 1000ml. Lavar el vaso tres veces con agua destilada (20-30ml) y añadir el agua de lavado al matraz, enrasar. Preparar antes de usar.

*preparar por duplicado

2.2.7. SOLUCIÓN HIJA DE FOSFATO DE 2.5mg/l

Pipetear 10ml con pipeta aforada de la solución madre de 50mg/l y diluirla con H₂O destilada en un matraz de 200ml. Prepara antes de usar.

*preparar por duplicado, uno de cada solución patrón de 50mg/l

2.3. CALIBRACIÓN

2.3.1. CURVA DE CALIBRACION

En una serie de matraces aforados de 50ml, introducir lo siguiente:

N°	blanco	0,2	0,25	0,50	0,75	1
patrón 2.5mg/l (ml)	0	4	5	10	15	20
Enrasar (ml)	50	50	50	50	50	50
mg P/l	0	0.2	0.25	0.50	0.75	1

Repetir las siguientes operaciones con cada patrón:

Tomar 25 ml de patrón (usar pipeta aforada) en un erlenmeyer de 100ml, añadir 4ml de reactivo combinado, agitar y al cabo de 10 minutos y antes de 30 minutos medir la absorbancia frente al blanco a 880nm siguiendo lo descrito en la instrucción del espectrofotómetro correspondiente.

*La absorbancia del blanco no debe superar 0.01 unidades de absorbancia.

2.4. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

2.4.1. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Llévense los 50,0ml de muestra a un tubo de ensayo limpio y seco o a un erlenmeyer de 125ml. Añádase 0,05ml (una gota) de indicador de fenolftaleína, si aparece un color rojo, añádase solución H_2SO_4 5N gota a gota, hasta que empiece a desaparecer.

Añádase 8,0 ml de reactivo combinado y mézclese bien. Al cabo de 10 minutos, pero antes de los 30, mídase la absorbancia de cada muestra a 880nm, con blanco de reactivo como referencia.

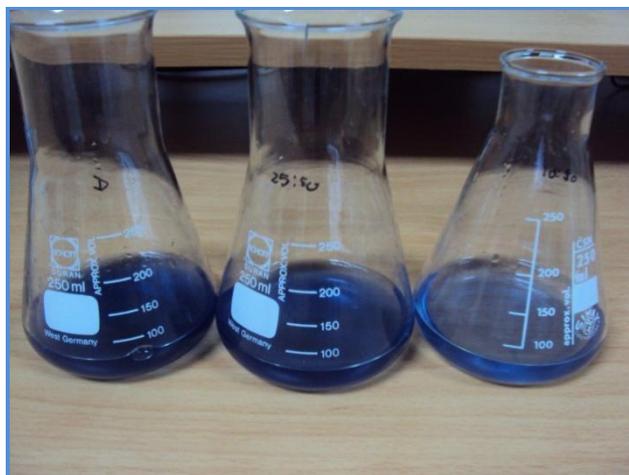
Si la absorbancia de la muestra es mayor que la del último patrón se repetirá el ensayo con una fracción diluida, teniendo en cuenta que como máximo se aplicara un factor de dilución de 100.

2.5. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Para muestras de 50ml, la concentración de PO_4^{3-} se obtiene directamente de la curva de calibración multiplicados por 3.07. El analista anotara los resultados así como los datos empleados en el libro de resultados.

2.6. CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En caso de repetición de ensayo, se tomara como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5% en caso de que fuera mayor se realizara un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomara como resultado el valor medio de los dos valores cuya desviación sea inferior al 5%.



Determinación de Fosfatos (Fósforo)

ANEXO 12

“DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES”

1. REFERENCIA.

Método APHA 2540 B: Métodos Normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Edición 17. Año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Balanza analítica con precisión de 0,0001g.
- Vaso Precipitación de 100 ml
- Estufa de secado, para una temperatura de $104 \pm 1^\circ\text{C}$.

2.1.2. REACTIVO:

- Cloruro potásico.

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. PREPARACIÓN DEL VASO DE EVAPORACIÓN.

Si únicamente se desea medir sólidos totales, caliéntese el vaso limpio a $104 \pm 1^\circ\text{C}$ durante una hora en horno. Consérvese en el desecador hasta que se utilice. Pesar inmediatamente antes de usar.

2.2.2.PREPARACIÓN DEL PATRÓN DE CONTROL.

Pesar $0,1500 \pm 0,0005$ g de Cloruro Potásico en un vaso de precipitados de 100 ml. Disolver la sal con agua destilada y añadir la disolución a un matraz aforado de 100 ml. Lavar el vaso con pequeñas porciones de agua destilada y añadir los lavados al matraz. Enrasar con agua destilada. Preparar mensualmente.

2.3. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA.

Poner en el vaso de precipitación la cantidad de muestra apropiada y meterlo el horno a $103-105^{\circ}\text{C}$ y dejar evaporarse hasta cumplir 24 horas. Retirar el vaso y pesarlo. Seguir secando y pesando hasta que la diferencia entre taladas no sea mayor a 0.0005g.

3. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.

$$\text{mg de sólidos totales/l} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{volumen de muestra, ml}}$$

donde:

A = peso de residuo seco + vaso

B = peso del vaso

4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En las determinaciones del patrón, se aceptarán los resultados cuyo porcentaje de error sea inferior al 5%. En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5 %, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultado, se tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5 %.



Determinación de Sólidos Totales

ANEXO 13

“DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS”

1. REFERENCIA

Métodos APHA 2540 B-D: Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Edición 17. Año 1992.

2. DESCRIPCIÓN

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Equipo para filtración en vacío compuesto de kitasatos, embudo para filtración, placa porosa, soporte y pinza. Sobre el kitasatos, se posicionará el soporte de la placa porosa. A continuación, se colocará ésta y posteriormente el embudo para filtración, fijándolo al soporte con la pinza.
- Balanza Analítica con precisión de $\pm 0,0001$ g.
- Estufa con temperatura de $104 \pm 1^\circ\text{C}$.

2.1.2. MATERIALES

- Filtros Millipore AP-40 o similar ($0,45 \mu\text{m}$)
- Pinzas.

2.1.3. REACTIVOS

- Silicato de Aluminio.

2.2. PREPARACIÓN

2.2.1. PREPARACIÓN DEL FILTRO

Insértese el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lávese el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continúese succionando hasta eliminar todo vestigio de agua, retírese el agua de lavado.

Séquese en horno a 103 – 105°C durante una hora. Si se van a medir sólidos volátiles, incinérese a $550 \pm 50^\circ \text{C}$ en horno de mufla, enfríese en desecador para equilibrar la temperatura procédase a pesar. Repítase el ciclo de secado o incineración enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg entre pesadas sucesivas. Consérvese en desecador hasta que se necesite.

Comprobar el peso inmediatamente antes de usar.

2.2.2. PREPARACIÓN DEL PATRÓN DE CONTROL

Pesar $0,350 \pm 0,0005$ g de Silicato de Aluminio en un vaso de precipitados de 100 ml. Trasvasar la sal a un matraz aforado de 1000 ml, asegurándose de

no dejar restos en el vaso. Enrasar con agua destilada a 1000 ml. Esta solución contiene 350 mg/l de sólidos en suspensión.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Móntese el aparato de filtrado y, el filtro e iníciase la succión. Para ajustar el filtro, humidézcase éste con una pequeña cantidad de agua destilada. Agitar fuertemente la muestra hasta lograr su homogeneización.

Dependiendo del tipo de muestra se tomarán los siguientes volúmenes (medido con probeta):

- Aguas naturales, Marinas....1000 ml.
- Aguas residuales.....100 ml o un volumen necesario para que el residuo no filtrable pese más de 10 mg. Si el peso es inferior, filtrar más volumen de muestra.

En ningún caso, se filtrará un volumen mayor de 1 litro de muestra.

Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lávese meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto

Fíltrese el volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lávese con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continúese succionando durante unos tres minutos después de terminar el filtrado. Sepárese cuidadosamente el filtro del aparato y trasládese a vidrio de reloj

cubierta con papel de filtro donde depositaremos cada filtro usado para dejarlo secar en la estufa.

Alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro del adaptador del crisol. Si se está utilizando un crisol de Gooh. Séquese en horno a 103 – 105 °C durante una hora al menos, enfríese en un desecador para equilibrar la temperatura y pésese. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5 mg, escoger la menor de ambas.

2.4. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

$$\text{mg de sólidos totales en suspensión / l} = \frac{(A - B) * 1.000}{\text{volumen de muestra, ml}}$$

donde:

A = peso del filtro + residuo seco, mg

B = peso del filtro, mg

2.5. VALIDACIÓN

En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5%, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar resultado, se

tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuya desviación sea inferior al 5%.



Determinación de Sólidos Suspendidos

ANEXO 14

“DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS”

1. REFERENCIA.

Métodos APHA 2540-C: Métodos Normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Edición 17. Año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. Equipos y materiales

2.1.1. EQUIPOS

- Balanza analítica con precisión de 0,0001g.
- Estufa de secado, para una temperatura de $180 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Equipo de filtración en vacío compuesto de Kitasatos, embudo para filtración, placa porosa, soporte y pinzas.
- Horno de mufla con rango de temperatura hasta 600°C o mayor.

2.1.2. MATERIALES

- Filtros Millipore AP-40 ó similar ($0.45 \mu\text{m}$).
- Vaso de precipitación de 100 ml

2.1.3. REACTIVO

- Cloruro potásico

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. PREPARACIÓN DEL FILTRO.

Insértese el filtro con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lávese el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continuar la succión hasta eliminar todo vestigio de agua. Deséchese el agua de lavado.

2.2.2. PREPARACIÓN DEL VASO DE EVAPORACIÓN.

Si se van a medir sólidos volátiles, incinérese la placa de evaporación limpia a 550 ± 50 °C durante una hora en un horno de mufla. Si únicamente se desea medir sólidos totales disueltos, caliéntese la placa limpia a 180 ± 2 °C durante una hora en horno. Consérvese en el desecador hasta que se utilice. Pesar inmediatamente antes de usar.

2.2.3. PREPARACIÓN DEL PATRÓN DE CONTROL.

Pesar $0,1500 \pm 0,0005$ g de Cloruro Potásico en un vaso de precipitación de 100 ml. Disolver la sal con agua destilada y añadir la disolución a un matraz aforado de 100 ml. Lavar el vaso con pequeñas porciones de agua destilada y añadir los lavados al matraz. Enrasar con agua destilada. Preparar mensualmente.

2.2.4. ELECCIÓN DEL VOLUMEN DE MUESTRA.

Elíjase un volumen de muestra que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo seco. Si se requiere más de 10 minutos para completar el filtrado, se deberá aumentar el tamaño del filtro o disminuir el tamaño de la muestra, pero en cualquier caso no se debe producir menos de 2,5 mg de residuo.

El volumen de muestra a emplear vendrá en función de la conductividad de la muestra:

- Para muestras con conductividades inferiores a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se tomará un volumen de 50 ml.
- Para muestras con conductividades entre 5000 y 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se tomará un volumen de 25 ml.
- Para muestras con conductividades superiores a 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se tomará un volumen de 10 ml (En este caso el ensayo se hará por duplicado).

2.3. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA.

Fíltrese el volumen medido de la muestra bien mezclada mediante un filtro de fibra de vidrio, lávese con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continúese succionando durante unos 3 minutos después de terminar el filtrado. Transfírase el producto a un vaso de precipitación pesado y

evapórese hasta que se seque en un baño de vapor. Si el volumen de filtrado excediera la capacidad del vaso, añádase a la misma, después de la evaporación, nuevas porciones de muestra. Séquese al menos durante una hora en horno a 180 ± 2 °C, enfríese en un desecador para equilibrar la temperatura y procédase a pesar. Repítase el ciclo de secado, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg (escoger la menor de ambas).

3. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.

$$\text{mg. de sólidos totales disueltos/l} = \frac{(A - B) \times 1.000}{\text{volumen de muestra, ml}}$$

donde:

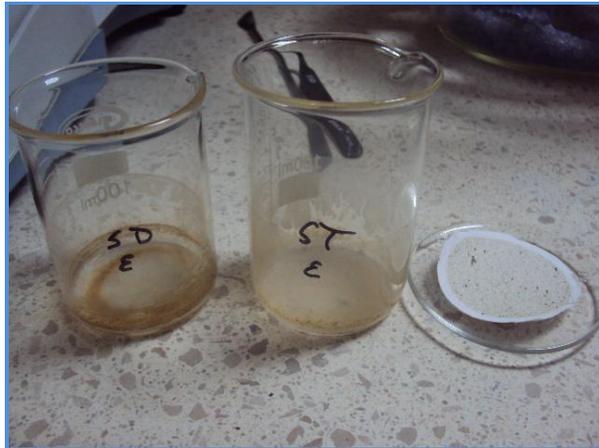
A = peso de residuo seco + vaso

B = peso del vaso

4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

En las determinaciones del patrón, se aceptarán los resultados cuyo porcentaje de error sea inferior al 5%. En caso de repetición de ensayo, se tomará como correcto que entre dos determinaciones de un porcentaje de error inferior al 5 %, en caso de que fuera mayor se realizará un tercer ensayo para contrastar

resultado, se tomará como resultado el valor medio de los dos valores cuyo desviación sea inferior al 5 %.



Determinación de Sólidos Disueltos

ANEXO 15

“DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES”

1. REFERENCIA.

Métodos APHA 2540-F: Métodos Normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Edición 17. Año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. EQUIPOS Y MATERIALES

2.1.1. EQUIPOS

- Conos Imhoff.

2.2. DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS.

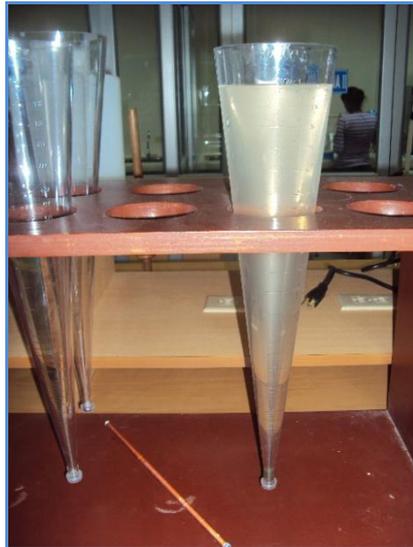
2.2.1. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MUESTRAS

Llenar un cono Imhoff con un litro del agua muestra. Dejar sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla, manténgase en reposo 15 minutos más y registrar el volumen de sólidos sedimentables del cono como mililitros por litro. Introducir 10 ml (pipeta aforada) de agua problema en un vaso de precipitado.

2.3. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Para una muestra de 1L, el valor observado en el cono será expresado en ml/l.

El analista anotará los datos del ensayo así como los resultados en el libro de resultados de sólidos.



Determinación de Sólidos Sedimentables

ANEXO 16

“DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES”

1. REFERENCIA.

Métodos APHA 9221-B*-C*: Métodos Normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Edición 17. Año 1992.

2. DESCRIPCIÓN.

2.1. Equipos y materiales

2.1.1. EQUIPOS

- Mechero Bunsen.
- Micropipeta de 100 a 1000 µl.

2.1.2. MATERIALES

- Tubos de ensayo de vidrio estériles.
- Campanas Durham.
- Gradillas para tubos de ensayo.
- Puntas de pipetas estériles de 100 a 1000 µl.

2.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

2.2.1. PREPARACIÓN DEL REACTIVOS Y MEDIOS DE CULTIVO.

- Caldo MacConkey.

El caldo se prepara siguiendo las instrucciones del medio deshidratado, en tubos de ensayos conteniendo campanas Durham invertidas y la adición de 10 ml del caldo de cultivo en número de cuatro serie de tres tubos por muestra a estudio y parámetro. Los tubos son sometidos a la esterilización en autoclave a 121 °C durante 15 minutos.

3. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA.

Se prepararan tubos de diluciones con 9 ml de agua destilada estéril contenido en tubos de ensayo. Dado que emplearemos cuatro series de tres tubos, necesitaríamos como mínimo 4 tubos de 9 ml de agua estéril para las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4} .

Una vez preparadas las diluciones de la muestra a estudio, se comienza la siembra de cada serie de tubos conteniendo el caldo de cultivo para el microorganismo a estudio como sigue:

Diluciones Series	Directa	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	Etc...
1 ^a	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
2 ^a	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
3 ^a	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml

Se incuban los tubos conteniendo el caldo de cultivo sembrado con diluciones de la muestra a temperatura de 37 °C para los Coliformes Totales y 44,5 °C para los Coliformes Fecales.

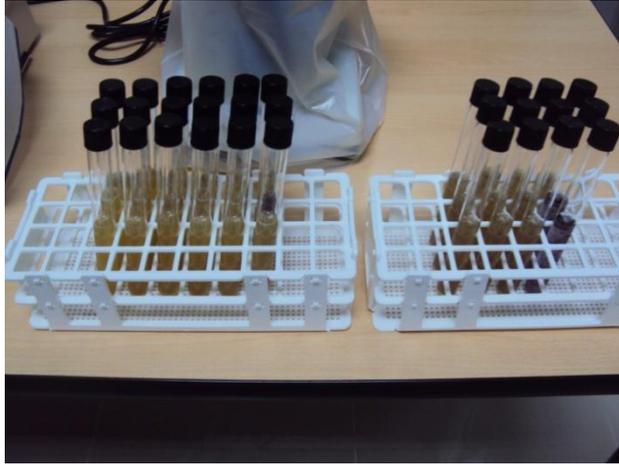
4. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La lectura de tubos se lleva a cabo por la presencia de producción de ácido (cambio del color del medio de azul claro a amarillo por variación del pH) y gas (aparición en la campana Durham de gas). Se tabulan los números de los tubos positivos en cada serie consultando la siguiente tabla:

Series			Diluciones empleadas			
1ª	2ª	3ª	1 / -1 / -2	-1 / -2 / -3	-2 / -3 / -4	-3 / -4 / -5
0	0	0	< 30	< 300	< 3.000	< 30.000
0	0	1	30	300	3.000	30.000
0	1	0	30	300	3.000	30.000
1	0	0	40	400	4.000	40.000
1	0	1	70	700	7.000	70.000
1	1	0	70	700	7.000	70.000
1	1	1	110	1.100	11.000	110.000
1	2	0	110	1.100	11.000	110.000
2	0	0	90	900	9.000	90.000
2	0	1	140	1.400	14.000	140.000
2	1	0	150	1.500	15.000	150.000
2	1	1	200	2.000	20.000	200.000
2	2	0	210	2.100	21.000	210.000
2	2	1	280	2.800	28.000	280.000
3	0	0	230	2.300	23.000	230.000
3	0	1	390	3.900	39.000	390.000
3	0	2	640	6.400	64.000	640.000
3	1	0	430	4.300	43.000	430.000
3	1	1	750	7.500	75.000	750.000
3	1	2	1.200	12.000	120.000	1.200.000
3	2	0	930	9.300	93.000	930.000
3	2	1	1.500	15.000	150.000	1.500.000
3	2	2	2.100	21.000	210.000	2.100.000
3	3	0	2.400	24.000	240.000	2.400.000
3	3	1	4.800	48.000	480.000	4.800.000
3	3	2	11.000	110.000	1.100.000	11.000.000
3	3	3	>24.000	>240.000	>2.400.000	>24.000.000

Tabla de Número Más Probable (NMP) de microorganismos por 100 ml

En este ensayo se expresa los resultados como NMP/ 100ml.



Tubos de ensayo de vidrio estériles para análisis de Coliformes Totales y Fecales

ANEXO 17

“ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS Y GEOELÉCTRICOS - CIPAT”



Estudio Topográfico



Estudio Geoeléctrico

ANEXO 18

“RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL”

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	7.56	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	614	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	2.65	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	167	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	414.55	5220-D*
Turbiedad	UNT	62.7	2130-B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	10.385	4500 P – E*
Sólidos Totales	mg ST/l	434	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	280	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	143	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	1	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	3.9x10 ⁴	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	2.4x10 ⁴	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 10 de enero de 2011.

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	6.83	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	486	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	2.57	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	150	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	346.13	5220-D*
Turbiedad	UNT	38.2	2130-B*
Amonio	mgN-NH ₃ /l	1.8164	4500 NH ₃ -C*
Nitritos	mgNO ₂ /l	0.25	4500 NO ₂ -B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	9.786	4500 P – E*
Sólidos Totales	mg ST/l	510	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	328	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	187	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	1	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.1x10 ⁵	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	4.8x10 ⁴	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 21 de febrero de 2011.

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	7.16	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	369	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	2.40	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	128	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	305.65	5220-D*
Turbiedad	UNT	34.4	2130-B*
Amonio	mgN-NH ₃ /l	9.61	4500 NH ₃ -C*
Nitritos	mgNO ₂ ⁻ /l	0.15	4500 NO ₂ -B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	4.58	4500 P - E*
Sólidos Totales	mg ST/l	470	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	218	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	190	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	0.7	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	2.4x10 ⁵	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.1x10 ⁵	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 16 de marzo de 2011.

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	7.24	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	554	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	2.89	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	370	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	679.88	5220-D*
Turbiedad	UNT	193	2130-B*
Amonio	mgN-NH ₃ /l	26.75	4500 NH ₃ -C*
Nitratos	mgNO ₃ ⁻ /l	0.6587	4500 NO ₃ -B*
Nitritos	mgNO ₂ ⁻ /l	0.3251	4500 NO ₂ -B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	6.483	4500 P - E*
Sólidos Totales	mg ST/l	546	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	318	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	140	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	1.5	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.1 x10 ⁸	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	4.8 x10 ⁵	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 31 de mayo de 2011.

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	7.36	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	740	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	1.39	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	341	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	613.98	5220-D*
Turbiedad	UNT	240	2130-B*
Amonio	mgN-NH ₃ /l	69.93	4500 NH ₃ -C*
Nitratos	mgNO ₃ ⁻ /l	1.5330	4500 NO ₃ -B*
Nitritos	mgNO ₂ ⁻ /l	0.3510	4500 NO ₂ -B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	14.25	4500 P – E*
Sólidos Totales	mg ST/l	550	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	346	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	101	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	1.3	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.5x10 ⁷	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.1x10 ⁵	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 24 de junio de 2011.

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
		#1	
pH	U de pH	6.86	4500 H-B*
Conductividad	μS/cm	565	2510-B*
Oxígeno Disuelto	mgOD/l	1.83	4500 O-G*
DBO ₅	mgO ₂ /l	412	5210-B*
DQO	mgO ₂ /l	787.15	5220-D*
Turbiedad	UNT	226	2130-B*
Amonio	mgN-NH ₃ /l	58.965	4500 NH ₃ -C*
Nitratos	mgNO ₃ ⁻ /l	2.2286	4500 NO ₃ -B*
Nitritos	mgNO ₂ ⁻ /l	0.4563	4500 NO ₂ -B*
Fosfatos	mgP-PO ₄ ⁻³ /l	14.27	4500 P – E*
Sólidos Totales	mg ST/l	786	2540-B*
Sólidos Disueltos Totales	mg SDT/l	574	2540-C*
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/l	210	2540-D*
Sólidos Sedimentables	ml / l	1.5	2540-F*
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.1x10 ⁷	9221-B*
Coliformes Fecales	NMP/100ml	4.8x10 ⁶	9221-C*

(*): Standard Methods APHA-AWWA-WPCF - Edition 21

Tomada el 8 de julio de 2011.

ANEXO 19

“MEMORIA DE CÁLCULO”

PROYECTO: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del área de
Tecnologías de la ESPOL

UBICACIÓN: Campus Gustavo Galindo Km 30.5 vía Perimetral - Tecnologías

AÑO EJECUCIÓN DEL PROYECTO: 2011 - 2012

1. Datos y características del afluente

Caudal promedio diario: 34,6 m³/día

Temperatura promedio del agua: 25,7 °C

Habitantes equivalentes: 182 h.e.

Carga Orgánica: 11 Kg DBO₅/día

2. Requerimientos del efluente

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): 25 mg/l

Sólidos Suspendidos Totales (SST): 40 mg/l

Nitrógeno: 10 mg/l

Fósforo: 4 mg/l

Coliformes Fecales: 100 NMP/100ml

Cloruros: 3,0 meq/l

Alcalinidad (HCO₃⁻): 1,5 meq/l

Sodio: 3,0 meq/l

3. Parámetros y bases de diseño

Caudal promedio diario: 34,6 m³/día

Caudal máximo horario: 2,3 m³/h

Caudal de diseño: 35 m³/día

Temperatura mínima agua: 23,7 °C

DBO₅ promedio del afluente: 252 mg/l

DBO₅ para diseño: 315 mg/l

Coliformes Fecales promedio del afluente: 2,4 x10⁴ NMP/100ml

Coliformes Fecales para diseño: 1,2 x10⁶ NMP/100ml

4. Condiciones de diseño

Tratamiento preliminar: Caudal máximo

Tratamiento primario: Caudal Promedio

Tratamiento secundario: Caudal Promedio

5. Pre tratamiento (Canal de Desbaste)

Longitud de canal: 4 m

Ancho del canal: 0,35 m

Dimensiones de las Rejas: 0,35 m ancho x 0,40 m altura

Separación rejas gruesas: 30 mm

Separación rejas finas: 10 mm

Inclinación rejas respecto a la vertical: 30°

Estructura: concreto

6. Tratamiento Primario (Fosa Séptica)

Compartimentos: 2 (1^{er}o 66% del volumen)

Volumen de la fosa séptica: 45 m³

Tiempo Retención Hidráulico (TRH): 1,3 días

Profundidad útil de tratamiento: 1,5 m

Profundidad de resguardo: 0,3 m

Profundidad total de la fosa séptica: 1,8 m

Área: 30 m² (7,5 m largo x 4,0 m ancho)

Periodo vaciado de fangos: 2–3 años

Tubería sumergida: 0,3 m

Estructura: concreto

7. Tratamiento Secundario

- Laguna Facultativa:

Temperatura mínima agua: 23,7 °C

Tiempo Retención Hidráulico (TRH): 3 días

Volumen de la laguna: 104 m³

Profundidad útil de tratamiento: 2 m

Resguardo: 0,4 m

Área: 52 m² (10,5 m largo x 5,0 m ancho)

Tubería sumergida: 0,3 m

Inclinación de Taludes respecto a la horizontal: 60°

Estructura: Geomembrana

- Laguna Maduración:

Temperatura mínima agua: 23,7 °C

Tiempo Retención Hidráulico (TRH): 6 días

Volumen de la laguna: 208 m³

Profundidad útil de tratamiento: 1 m

Resguardo: 0,25 m

Área: 208 m² (20,5 m largo x 10,0 m ancho)

Tubería sumergida: 0,3 m

Inclinación de Taludes respecto a la horizontal: 60°

Estructura: Geomembrana

8. Reservorio, Canales, Válvulas y Tuberías

Dimensiones del reservorio: 4,5 m largo x 4,0 m ancho

Profundidad del reservorio: 2 m

Dimensiones de canales: 0,5 m largo x 0,5 m ancho

Profundidad de canales: 0,5 m

Válvulas: 110 mm plásticas

Tuberías: 110 mm plásticas

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Álava, Á. y Cuenca, I. **Prácticas Laborales**. Previo a la titulación de Ingenieros Químicos. Año 2011.
- [2] Comisión Nacional del Agua. **Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento-DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**. Editorial Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México D.F. Año 2007. Páginas: 1-47, 52-92, 100-105, 147-193.
- [3] Centro de las Nuevas Tecnologías del agua (CENTA). **MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS**. Editorial IDEASAMARES. España. Año 2008. Páginas: 15-24, 150-236.
- [4] Los autores ICREW. **Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales urbanas para pequeños núcleos de población**. Editorial ITC. Primera edición. Gran Canaria, España. Año 2006. Páginas: 21-26, 40-44, 80-83.
- [5] APHA, AWWA, WPCF. **MÉTODOS NORMALIZADOS – Para el análisis de aguas potables y residuales**. Editorial Díaz de Santos S.A. Decimoséptima edición. Madrid, España. Año 1992. Páginas: 1 (33-62) – 2 (63-89) – 4 (125-200) – 9 (34-42) – 9 (78-94).

- [6] Presidencia de la Republica. **NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.** Libro VI. Anexo 1. Año 2010. Páginas: 1- 35.
- [7] Romero, J. **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.** Editorial Alfaomega. Tercera Edición. Colombia. Año 1999. Páginas: 144-162, 173-191
- [8] Instituto Tecnológico de Canarias. **SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL.** Departamento de Agua – División de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Editorial ITC. España. Año 2009.
- [9] Mena, J. **DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON HUMEDALES ARTIFICIALES: VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS.** Alquimia Soluciones Ambientales. España. Año 2008.
- [10] García, J. y Corzo, A. **DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de flujo Subsuperficial.** Alquimia Soluciones Ambientales. España. Año 2008.