

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO.SS.



**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA
EL MUNICIPIO DE PADCAYA”**

Realizado por:

JORGE LUIS LEMA SORUCO

Diciembre del 2011

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OO.SS.

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA
EL MUNICIPIO DE PADCAYA”**

Realizado por:

JORGE LUIS LEMA SORUCO

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

Diciembre del 2011

TARIJA – BOLIVIA

HOJA DE EVALUACIÓN

EVALUACIÓN CONTINUA:

Fecha de presentación:

Calificación numeral:

Calificación literal:

Nombre y firma docente CIV 502:

EVALUACIÓN FINAL:

Fecha de presentación y defensa:

Calificación numeral:

Calificación literal:

Nombre y firma tribunal 1:

Nombre y firma tribunal 2:

Nombre y firma tribunal 3:

CALIFICACIÓN FINAL:

Evaluación continua (40%):

Evaluación final (60%):

Calificación final:

Nombre y firma docente CIV 502:

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

Dedicatoria:

Este proyecto está dedicado a las personas que mas amamos en la vida, nuestros padres, a los que debemos mucho por su abnegada entrega al impulsarnos en un camino recto y de valores, y por darnos la oportunidad de ser hombres de bien día tras día bajo su compañía.

Agradecimientos

A Dios por darnos la luz y guía espiritual para nuestro crecimiento tanto intelectual como moral.

A mis padres Jorge Lema y Fátima Soruco, por el amor que me brindaron sus desvelos, sus sacrificios, su amistad y compañerismo.

A mis hermanos Amanda y Daniel por la ayuda y buenos momentos que compartimos.

A la Ing. M.Sc. Miriam Barrero por ayudarme a que sea posible este proyecto.

Al Ing. Juan Carlos Loza por toda su ayuda y tutoría en este proyecto.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho por abrirme las puertas y cobijarme hasta la culminación de nuestros estudios.

A mis amigos, muchas gracias por su incondicional apoyo y afecto. Sin lugar a dudas hemos disfrutado de tantas cosas juntos y por eso forman parte de mi vida.

¡¡Muchas Gracias!!

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Selección y Definición del Tema del proyecto	Pág. 1
1.1.1	Titulo del proyecto	Pág. 1
1.1.2	Localización	Pág. 1
1.2	Población	Pág. 2
1.3	Servicios básicos existentes	Pág. 2
1.3.1	Agua potable	Pág. 2
1.3.2	Alcantarillado	Pág. 2
1.3.3	Electricidad	Pág. 3
1.3.4	Educación	Pág. 3
1.3.5	Salud	Pág. 3
1.4	Problemática actual	Pág. 3
1.4.1	Planteamiento del problema	Pág. 4
1.4.2	Formulación del problema	Pág. 4
1.4.3	Sistematización del problema	Pág. 5
1.5	Objetivos del proyecto	Pág. 6
1.5.1	Objetivo general	Pág. 6
1.5.2	Objetivos específicos	Pág. 6

1.6	Justificación del proyecto	Pág. 7
1.6.1	Justificación académica	Pág. 7
1.6.2	Justificación técnica	Pág. 8
1.6.3	Justificación social- institucional	Pág. 8
1.7	Marco de Referencia	Pág. 8
1.7.1	Discusión de la información disponible	Pág. 8
1.7.2	Formulación de los resultados a lograr	Pág. 9
1.8	Alcance del perfil del proyecto	Pág. 9
1.9	Descripción de trabajos o proyectos previos realizados al respecto	Pág. 10
1.10	Normativa boliviana en materia de aguas residuales urbanas	Pág. 10
1.11	Características del agua residual generada en la zona	Pág. 14

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

2.1	Introducción	Pág. 25
2.2	Efluentes de aguas residuales	Pág. 26
2.3	Características de las aguas residuales	Pág. 27
2.4	Características indeseables de las aguas residuales	Pág. 29
2.5	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	Pág. 31
2.5.1	Características físicas	Pág. 34
2.5.1.1	Sólidos totales	Pág. 34
2.5.1.2	Olores	Pág. 34

2.5.1.3	Temperatura	Pág. 35
2.5.1.4	Color	Pág. 36
2.5.1.5	Turbiedad	Pág. 36
2.5.2	Características químicas	Pág. 37
2.5.2.1	Materia orgánica	Pág. 37
2.5.2.1.1	Medición del contenido orgánico	Pág. 38
2.5.2.2	Materia Inorgánica	Pág. 38
2.5.2.3	Gases presentes en el agua residual	Pág. 39
2.5.3	Características biológicas	Pág. 39
2.5.3.1	Microorganismos	Pág. 40
2.5.3.2	Organismos patógenos	Pág. 41
2.5.3.3	Organismos indicadores	Pág. 41
2.6	Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de aguas residuales	Pág. 42
2.6.1	Aplicación de los procesos en el tratamiento de aguas residuales	Pág. 43
2.7	Recuperación y reutilización de efluentes	Pág. 44

CAPÍTULO III ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO

3.1	Caudales de aguas residuales	Pág. 45
3.1.1	Estimación de los caudales de agua residual	Pág. 46
3.1.2	Usos del agua	Pág. 46
3.1.3	Usos del agua	Pág. 45

3.2	Determinación del caudal	Pág. 48
3.2.1	Medición de caudales en campo	Pág. 48
3.2.2	Criterio para la determinación del caudal por zonas residenciales	Pág. 51
3.2.3	Criterio para la determinación del caudal por zonas comerciales	Pág. 57
3.2.4	Criterio para la determinación del caudal por zonas industriales	Pág. 59
3.2.5	Resumen de caudales totales generados en el municipio	Pág. 59

CAPÍTULO IV SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

4.1	Introducción	Pág. 61
4.2	Proceso de tratamiento	Pág. 61
4.3	Tratamiento primario	Pág. 63
4.3.1	Rejillas	Pág. 63
4.3.1.1	Tipos de rejillas	Pág. 63
4.3.1.2	Consideraciones para el diseño de las rejillas	Pág. 64
4.3.1.2.1	Velocidad de flujo a través de las rejillas	Pág. 65
4.3.1.2.2	Inclinación de las barras	Pág. 65
4.3.1.2.3	Espaciamiento de las barras	Pág. 65
4.3.1.2.4	Dimensiones de las barras	Pág. 66
4.3.1.3	Diseño del canal de rejillas de limpieza manual	Pág. 67
4.3.1.3.1	Área transversal del canal	Pág. 67
4.3.1.3.2	Pendiente del canal	Pág. 68

4.3.1.3.3 Longitud de las barras	Pág. 69
4.3.1.3.4 Cálculo del número de barras	Pág. 69
4.3.1.3.5 Longitud del depósito o canal	Pág. 70
4.3.1.3.6 Pérdida de carga	Pág. 70
4.3.1.3.7 Coeficientes de variación diaria y horaria	Pág. 71
4.3.1.3.8 Aliviadero de entrada	Pág. 72
4.3.2 Desarenador	Pág. 72
4.3.2.1 Desarenadores de flujo horizontal	Pág. 73
4.3.2.1.1 Zona de entrada	Pág. 74
4.3.2.1.2 Zona de desarenación	Pág. 74
4.3.2.1.3 Zona de salida	Pág. 74
4.3.2.1.4 Zona de depósito y remoción de la arena	Pág. 74
4.3.2.2 Diseño del desarenador de flujo horizontal	Pág. 74
4.3.2.2.1 Número de unidades y "By-Pass"	Pág. 74
4.3.2.2.2 Velocidad de flujo en los desarenadores	Pág. 75
4.3.2.2.3 Área de los desarenadores	Pág. 75
4.3.2.2.4 Profundidad de la lámina líquida	Pág. 75
4.3.2.2.5 Angulo de transición	Pág. 76
4.3.2.3 Diseño hidráulico para desarenadores de flujo horizontal	Pág. 76
4.3.2.3.1 Teoría de la sedimentación discreta	Pág. 76
4.3.2.3.2 Determinación de la velocidad de sedimentación	Pág. 79

4.3.2.3.3	Cálculo de las dimensiones del desarenador	Pág. 81
4.3.2.3.4	Canal controlado por vertedero Sutro	Pág. 82
4.3.2.3.5	Canal controlado por una canaleta Parshall	Pág. 84
4.3.3	Tanque de sedimentación primaria Imhoff	Pág. 85
4.3.3.1	Fundamentos del diseño	Pág. 86
4.3.3.2.1	Remoción de DBO y SST	Pág. 86
4.3.3.1.2	Tiempo de retención	Pág. 87
4.3.3.1.3	Cargas de superficie	Pág. 88
4.3.3.1.4	Velocidad de arrastre	Pág. 89
4.3.3.2	Parámetros de diseño del tanque imhoff	Pág. 89
4.3.3.2.1	Cámara de sedimentación	Pág. 90
4.3.3.2.2	Cámara de digestión	Pág. 91
4.3.3.6.3	Área de ventilación y cámara de natas	Pág. 92
4.4	Tratamiento secundario	Pág. 93
4.4.1	Procesos aerobios y anaerobios	Pág. 93
4.4.1.1	Microbiología del proceso aerobio	Pág. 93
4.4.1.2	Microbiología del proceso anaerobio	Pág. 94
4.4.2	Procesos unitarios del tratamiento secundario	Pág. 94
4.4.3	Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales	Pág. 94
4.4.3.1	Sistemas biológicos no convencionales	Pág. 95
4.4.3.1.1	Lagunas de estabilización	Pág. 95

4.4.3.1.2 Humedales	Pág. 97
4.4.3.2 Sistemas de tratamiento del tipo convencional	Pág. 98
4.4.3.2.1 Lagunas aireadas	Pág. 98
4.4.3.2.2 Biófiltros o filtros percoladores	Pág. 100
4.4.3.2.3 Lodos activados	Pág. 102
4.4.3.3 Sistemas innovadores	Pág. 104
4.4.3.3.1 Bióreactor de membrana (MBR)	Pág. 104
4.4.3.4 Sistemas biológicos para remoción de nutrientes	Pág. 106
4.4.4 Selección del tratamiento secundario	Pág. 106
4.4.5 Humedales	Pág. 107
4.4.5.1 Humedales construidos	Pág. 108
4.4.5.2 Tipos de humedales	Pág. 109
4.4.5.2 .1 Humedales de flujo horizontal	Pág. 109
4.4.5.2 .1.1 Estructuras de entrada y salida	Pág. 110
4.4.5.2 .1.2 Impermeabilización	Pág. 111
4.4.5.2 .1.3 Medio granular	Pág. 111
4.4.5.2 .1.4 Vegetación	Pág. 112
4.4.5.2 .2 Humedales de flujo vertical	Pág. 116
4.4.5.3 Dimensionamiento	Pág. 117
4.4.5.3.1 Parámetros dimensionamiento biológico	Pág. 117
4.4.5.3.2 Parámetros dimensionamiento hidráulico	Pág. 120

CAPÍTULO V DISEÑO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO

5.1	Dimensionamiento del canal de rejas de limpieza manual	Pág. 123
5.1.1	Determinación de los caudales de trabajo	Pág. 123
5.2.2	Aliviadero de entrada	Pág. 123
5.2.3	Determinación del área transversal del canal de rejas (A_t)	Pág. 125
5.2.4	Calculo del tirante (y_a)	Pág. 125
5.2.5	Pendiente del canal	Pág. 126
5.2.6	Determinación del número de barras (N_b)	Pág. 126
5.2.7	Longitud de las barras (L_b)	Pág. 126
5.2.8	Calculo de la perdida de carga (h_f) en las rejas	Pág. 126
5.2.9	Dimensiones del canal de rejas	Pág. 127
5.2	Dimensionamiento del desarenador	Pág. 128
5.2.1	Determinación de la velocidad de sedimentación (V_s)	Pág. 128
5.2.2	Verificamos el tiempo de retención hidráulica	Pág. 131
5.2.3	Dimensionamiento del canal Parshall	Pág. 132
5.3	Diseño del tanque imhoff	Pág. 133
5.3.1	Dimensionamiento de la cámara de sedimentación	Pág. 133
5.3.2	Dimensionamiento de la cámara digestora	Pág. 134
5.3.3	Remoción de DBO y SST	Pág. 137
5.4	Dimensionamiento del humedal subsuperficial	Pág. 137
5.4.1	Dimensionamiento biológico	Pág. 137

5.4.1.1	Diseño del humedal aplicando el método de Sherwood	Pág. 138
5.4.1.1.1	Calculo del área superficial	Pág. 138
5.4.2	Dimensionamiento hidráulico	Pág. 139
5.4.2.1	Calculo del tiempo de retención hidráulica (t)	Pág. 139
5.4.2.2	Calculo relación largo ancho	Pág. 140
5.5	Dimensionamiento de la tubería de recogida del efluente	Pág. 140
5.5.1	Longitud de la tubería	Pág. 140
5.5.2	Caudal por metro	Pág. 140
5.5.3	Caudal máximo en tubería	Pág. 141
5.5.4	Diámetro de la tubería	Pág. 141
5.5.5	Área abierta de tubería en un metro lineal	Pág. 141
5.5.6	Área de perforación	Pág. 141
5.5.7	Número de perforaciones	Pág. 141
5.5.8	Distribución de perforaciones en la tubería	Pág. 142
5.5.9	Longitud ocupada por los orificios	Pág. 142
5.5.10	Espaciamiento a lo largo del perímetro	Pág. 142
5.5.11	Número de filas en un metro	Pág. 142

CAPÍTULO VI DESINFECCIÓN

6.1	Introducción	Pág. 143
6.2	Análisis de los factores que influyen en la acción de los desinfectantes	Pág. 144

6.2.1	Tiempo de contacto	Pág. 144
6.2.2	Tipo y concentración del agente químico	Pág. 146
6.3.	Desinfección con cloro	Pág. 147
6.3.1	Reacciones del cloro en agua	Pág. 147
6.3.3	Determinación de la concentración y tiempo de contacto	Pág. 148

CAPÍTULO VII ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

7.1	Introducción	Pág. 152
7.2	Conceptos básicos	Pág. 152
7.3	Etapas del proceso	Pág. 153
7.4	Métodos simples de identificación de impacto	Pág. 155
7.4.1	Información de partida	Pág. 155
7.4.2	Metodologías de matrices interactivas	Pág. 156
7.4.2.1	Desarrollo de una matriz simple	Pág. 156
7.4.3	Métodos de listas de control	Pág. 157
7.5	Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales	Pág. 157
7.5.1	Identificación de impactos mediante lista de control	Pág. 192
7.5.2	Descripción general de impactos y asignación de pesos específicos según actividades básicas.	Pág. 165
7.5.3.	Matrices de identificación y evaluación de impactos	Pág. 171
7.5.4.	Análisis de resultados	Pág. 172
7.5.5.	Medidas preventivas y de mitigación	Pág. 175

7.5.6. Conclusiones del estudio	Pág. 176
---------------------------------	----------

CAPÍTULO VIII PRESUPUESTO

8.1	Introducción	Pág. 177
8.2	Personal de la planta	Pág. 177
8.3	Cómputos métricos	Pág. 177
8.4	Precios unitarios	Pág. 180
8.5	Presupuesto	Pág. 181

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones finales	Pág. 185
----------------------	----------

Recomendaciones finales	Pág. 186
-------------------------	----------

BIBLIOGRAFIA	Pág. 187
---------------------	----------

ANEXOS	Pág. 188
---------------	----------

Anexo A Encuesta modelo para recabar datos en la población de Padcaya	Pág. 188
---	----------

Anexo B Fotografías	Pág. 189
---------------------	----------

Anexo C Ley 1333	Pág. 191
------------------	----------

Anexo D Imágenes satelitales	Pág. 198
------------------------------	----------

Anexo E Análisis de precios unitarios	Pág. 200
---------------------------------------	----------

Anexo F Análisis de agua	
--------------------------	--

Anexo G Análisis taxonómico de las plantas para el humedal	
--	--

Anexo H Planos	
----------------	--

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso	Pág. 11
Tabla 1.2	Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l	Pág. 12
Tabla 1.3	Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores	Pág. 13
Tabla 1.4	Características del agua muestreada en salida colector	Pág. 17
Tabla 1.5	Características del agua muestreada antes de cámara séptica	Pág. 17
Tabla 1.6	Características del agua muestreada en efluente cámara séptica	Pág. 18
Tabla 1.7	Características del agua muestreada aguas abajo de la cámara séptica	Pág. 18
Tabla 1.8	Características del agua muestreada en el colector mismo	Pág. 20
Tabla 1.9	Características del agua muestreada en salida de colector	Pág. 20
Tabla 1.10	Características del agua muestreada en unión con aguas que bajan río arriba	Pág. 21
Tabla 1.11	Características del agua muestreada antes de mezclarse con aguas que bajan quebrada arriba	Pág. 21
Tabla 1.12	Características del agua muestreada en el colector final (muestra N°1), analizada en laboratorio CEANID	Pág. 22
Tabla 1.13	Características del agua muestreada en el colector final (muestra N°2), analizada en laboratorio CEANID	Pág. 23
Tabla 1.14	Características del agua muestreada a la salida del tanque de sedimentación, analizada en laboratorio CEANID	Pág. 24
Tabla 2.1	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	Pág. 32
Tabla 2.2	Clasificación de los microorganismos	Pág. 40

Tabla 3.1	Datos de población del centro urbano del municipio de Padcaya	Pág. 52
Tabla 3.2	Resultados de encuesta	Pág. 52
Tabla 3.3	Total población por sexo	Pág. 53
Tabla 3.4	Datos de acceso servicios públicos	Pág. 53
Tabla 3.5	Población total incluyendo las viviendas no encuestadas	Pág. 54
Tabla 3.6	Total población actual incluyendo margen de error	Pág. 54
Tabla 3.7	Métodos de proyección en función a la población actual	Pág. 55
Tabla 3.8	Población por clase social según censo 2001	Pág. 56
Tabla 3.9	Población por clase socioeconómica para el 2031	Pág. 56
Tabla 3.10	Consumo doméstico de agua potable para el 2031	Pág. 57
Tabla 3.11	Personal ocupado en el municipio de Padcaya según INE	Pág. 57
Tabla 3.12	Caudal por sector económico	Pág. 58
Tabla 3.13	Caudales de agua potable en el municipio en el año 2031	Pág. 59
Tabla 4.1	Factores por considerar en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios	Pág. 62
Tabla 4.2	Velocidades de flujo (v)	Pág. 65
Tabla 4.3	Espesores y espaciamientos de rejillas	Pág. 66
Tabla 4.4	Clasificación y tamaño de barras	Pág. 66
Tabla 4.5	Valores recomendados de coeficientes de punta para pequeñas comunidades	Pág. 71
Tabla 4.6	Valores del coeficiente “a”	Pág. 81
Tabla 4.7	Constantes de remoción de DBO y SST a 20°C	Pág. 87

Tabla 4.8	Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria	Pág. 88
Tabla 4.9	Factor de capacidad relativa según la temperatura	Pág. 91
Tabla 4.10	Proceso biológicos de tratamiento de aguas residuales	Pág. 95
Tabla 4.11	Eficiencias de remoción de lagunas de estabilización	Pág. 96
Tabla 4.12	Eficiencia de remoción del sistema de humedales	Pág. 98
Tabla 4.13	Eficiencia lagunas aireadas aerobias	Pág. 99
Tabla 4.14	Eficiencia lagunas aireadas facultativas	Pág. 100
Tabla 4.15	Eficacia de remoción de biófiltrros	Pág. 101
Tabla 4.16	Eficiencia de remoción lodos activados	Pág. 103
Tabla 4.17	Eficiencia de remoción del sistema MBR	Pág. 105
Tabla 4.18	Características del agua aguas arriba del humedal	Pág. 115
Tabla 4.19	Características del agua aguas abajo del humedal	Pág. 115
Tabla 4.20	Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica (k_s) en función del tipo de material granular utilizado como substrato en un humedal construido de flujo subsuperficial.	Pág. 121
Tabla 5.1	Dimensiones del canal de aproximación	Pág. 125
Tabla 5.2	Iteraciones entre las ecuaciones 2 y 4	Pág. 129
Tabla 5.3	Dimensiones del desarenador	Pág. 131
Tabla 6.1	Microorganismos comúnmente encontrados en el agua residual municipal y sus correspondientes enfermedades.	Pág. 143
Tabla 7.1	Lista de control para evolución de impactos	Pág. 158
Tabla 7.2	Evaluación y descripción de impactos	Pág. 166

Tabla 7.3	Resultados de la evaluación de impactos	Pág. 172
Tabla 7.4	Matriz de identificación de impacto ambiental	Pág. 173
Tabla 7.5	Matriz de evaluación de impacto ambiental	Pág. 174
Tabla 8.1	Cómputos métricos canal de acceso	Pág. 178
Tabla 8.2	Cómputos métricos tanque imhoff	Pág. 178
Tabla 8.3	Cómputos métricos humedal	Pág. 178
Tabla 8.4	Cómputos métricos del tanque de cloración	Pág. 180
Tabla 8.5	Cómputos métricos del cerco perimetral	Pág. 180
Tabla 8.6	Presupuesto canal de aproximación	Pág. 181
Tabla 8.7	Presupuesto tanque imhoff	Pág. 181
Tabla 8.8	Presupuesto humedales	Pág. 182
Tabla 8.9	Presupuesto tanque cloración	Pág. 183
Tabla 8.10	Presupuesto cerco perimetral	Pág. 184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Croquis punto N° 1 de toma de muestras	Pág. 16
Figura 1.2	Croquis punto N° 2 de toma de muestras	Pág. 19
Figura 2.1	Componentes Básicos de tratamiento de aguas residuales	Pág. 27
Figura 2.2	Esquema de fuentes de agua, usos benéficos, cambios de calidad y necesidad de tratamiento	Pág. 28
Figura 3.1	Habitantes ocupados en el sector comercial al año horizonte 2031	Pág. 58
Figura 4.1	Sección transversal del canal de rejas	Pág. 68
Figura 4.2	Esquema de rejas de limpieza manual	Pág. 69
Figura 4.3	Desarenador (planta y corte longitudinal)	Pág. 73
Figura 4.4	Desarenador de dos unidades en paralelo (vista en planta)	Pág. 75
Figura 4.5	Sedimentación de una partícula	Pág. 77
Figura 4.6	Modelo de sedimentación de una partícula de arena	Pág. 79
Figura 4.7	Esquema de un desarenador	Pág. 81
Figura 4.8	Esquema de un vertedero sutro	Pág. 83
Figura 4.9	Geometría del vertedero sutro	Pág. 84
Figura 4.10	Sección parabólica del Parshall	Pág. 84
Figura 4.11	Curvas de sedimentadores en funcionamiento de acuerdo al tiempo de retención	Pág. 87
Figura 4.12	Esquema grafico de la cámara de sedimentación	Pág. 90
Figura 4.13	Grafico de la cámara de digestión y la tubería de extracción de lodos	Pág. 91

Figura 4.14	Vista en planta de un tanque Imhoff	Pág. 92
Figura 4.15	Sistema convencional de tratamiento mediante lodos activados	Pág. 103
Figura 4.16	Sistema MBR con membranas sumergidas (EPA-US, Wastewater Management Fact Sheet: Membrane Bioreactors, 2007)	Pág. 105
Figura 4.17	Tipos de humedales construidos; A. con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal	Pág. 108
Figura 4.18	Esquema de una arqueta de distribución	Pág. 110
Figura 4.19	Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	Pág. 111
Figura 4.20	Esquema típico de planta emergente	Pág. 113
Figura 4.20	Croquis quebrada	Pág. 114
Figura 4.21	Humedal de flujo vertical	Pág. 117
Figura 6.1	Desviaciones típicas de los microorganismos con respecto a la ley Chick-Watson	Pág. 146
Figura 6.2	Porcentajes de HOCL y OCl ⁻ con respecto a su Ph	Pág. 148
Figura 6.3	Concentración de cloro por tiempo	Pág. 149

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1	Punto de muestreo N° 1	Pág. 14
Fotografía 1.2	Punto de muestreo N° 2	Pág. 15
Fotografía 1.3	Descarga colector	Pág. 15
Fotografía 1.4	Tanque séptico	Pág. 15
Fotografía 4.1	Rejilla fija con limpieza manual	Pág. 64
Fotografía 4.2	Desarenador de flujo horizontal en paralelo	Pág. 73
Fotografía 4.3	Impermeabilización de las celdas	Pág. 111
Fotografía 4.4	Colocación del material granular desde el exterior de una celda	Pág. 112
Fotografía 4.5	Aguas arriba del humedal	Pág. 114
Fotografía 4.6	Aguas abajo del humedal	Pág. 114
Fotografía 4.7	Colocación de plantas	Pág. 116