

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE
LA CIUDAD DE TARIJA Y DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE
TRATAMIENTO CON TECNOLOGÍA ANAEROBIA (UASB)
UBICADA AL INGRESO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
DE SAN LUIS”**

Por:

PABLO ANTONIO CRUZ LOPEZ

Proyecto de Grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Julio de 2019

TARIJA – BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Adel Cortez Maire

.....
Ing. Gonzalo Ortega Dávalos

.....
Ing. Nelson Rodríguez Lezana

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

Este proyecto está dedicado a las personas que más amamos en la vida, nuestros padres y demás familiares, 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 para nuestro crecimiento, tanto intelectual como moral

A mis padres Miguel Cruz y Florinda Lopez, por el amor que me brindaron, sus desvelos, sus sacrificios, su amistad y guía.

A mis hermanos Cinthia y José por todo su cariño.

A mi tía Perfecta Lopez que me colaboró cuando lo necesitaba y todo su apoyo.

A mi novia Adriana Lopez y su familia por impulsarme a lograr grandes cosas y por todos los buenos momentos que compartimos.

Al ingeniero y hermano en Cristo Gonzalo Ortega Dávalos por ayudarme a culminar esta etapa importante de mi vida.

A todos los docentes de la mención de Obras Hidráulicas y Sanitarias, los cuales me ayudaron a decidirme por esta mención, por su ejemplar profesionalismo y dedicación para que los estudiantes aprendamos al máximo.

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

A mis amigos, muchas gracias por su incondicional apoyo y afecto.

GRACIAS TOTALES!!!

“-¿Por qué lo deseas tanto?
-Porque me dijeron que no lo
lograría.”

Hombres de honor

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL TEMA DEL PROYECTO	1
1.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO DE GRADO.....	1
1.1.2. LATITUD Y LONGITUD	1
1.1.3. LÍMITES TERRITORIALES	2
1.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4. JUSTIFICACIÓN	3
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.6. MARCO DE REFERENCIA	5
1.6.1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.6.2. MARCO CONCEPTUAL.....	7
1.6.3. MARCO ESPACIAL	9
1.6.4. MARCO TEMPORAL.....	9
1.7. ALCANCE.....	9
2. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	10
2.1. INTRODUCCIÓN	10
2.2. EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES	11
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	12
2.4. CARACTERÍSTICAS INDISPENSABLES DE LAS AGUAS RESIDUALES	15
2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL	16
2.5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	18
2.5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	21
2.5.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	24
2.6. PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	26
2.6.1. APLICACIÓN DE LOS PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
2.7. RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES	28
2.8. NORMATIVA BOLIVIANA EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. ...	28
2.9. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO EN BOLIVIA.....	33
2.9.1. PRESENCIA DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS EN BOLIVIA.....	33

2.9.2. TIPOS DE PTAR	35
2.9.3. FUNCIONAMIENTO Y EFICIENCIA.....	37
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR DE SAN LUIS Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO.....	39
3.1. AGUA RESIDUAL.....	39
3.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	39
3.3. CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES	40
3.3.1. USOS DEL AGUA	41
3.4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	43
3.4.1. COSAALT	43
3.4.2. RIMH	47
3.4.3. CAMPAÑA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS GESTIÓN 2019.....	50
3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECABADA	55
3.5.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECABADA DE COSSALT	55
3.5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECABADA DEL LABORATORIO RIMH	58
3.5.3. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS DE LA GESTIÓN 2019.....	63
3.6. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE TARIJA. 78	
3.6.1. CONFIABILIDAD, ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	78
4. ANÁLISIS DE PROCESO Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	83
4.1. INTRODUCCIÓN	83
4.2. PROCESOS DE TRATAMIENTO	83
4.3. TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	84
4.3.1. REJILLAS.....	85
4.3.2. DESARENADOR	93
4.3.3. TANQUE DE SEDIMENTACIÓN IMHOFF	104
4.4. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.....	105
4.4.1. PROCESOS AEROBIOS Y ANAEROBIOS	105
4.4.2. PROCESOS UNITARIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	109
4.4.3. SISTEMAS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	109
4.4.4. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO	123
4.4.5. REACTORES ANAERÓBICOS UASB.....	126
4.4.6. BIOFILTRO PERCOLADOR	141
4.4.7. CLARIFICADOR O DECANTADOR SECUNDARIO	143
4.4.8. ESQUEMA COMPLETO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	143
5. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PILOTO	144

5.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO SOFTWARE “UASB plant pro”	144
5.2. VERIFICACIÓN DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS POR EL PROGRAMA.....	157
5.2.1. SISTEMA DE BOMBEO INGRESO A LA PLANTA	157
5.3. TRATAMIENTOS PRELIMINARES.....	159
5.3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR DE FLUJO HORIZONTAL.....	159
5.3.2. TANQUE DE REGULACION	162
5.3.3. SISTEMA DE BOMBEO	163
5.4. TRATAMIENTO PRINCIPAL	165
5.4.1. REACTOR UASB.....	165
5.5. TRATAMIENTO SECUNDARIO	175
5.5.1. BIÓFILTRO PERCOLADOR	175
5.5.2. CLARIFICADOR	178
5.5.3. LECHO DE SECADO DE LODOS.....	179
5.6. EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	181
6. DESINFECCIÓN	182
6.1. INTRODUCCIÓN	182
6.2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN	183
6.3. ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACCIÓN DE LOS DESINFECTANTES	184
6.3.1. TIEMPO DE CONTACTO.....	184
6.3.2. TIPO Y CONCENTRACIÓN DEL AGENTE QUÍMICO.....	186
6.4. DESINFECCIÓN CON CLORO	186
6.4.1. REACCIONES DEL CLORO EN AGUA.....	188
6.4.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE CONTACTO	190
7. PRESUPUESTO PLANTA DE TRATAMIENTO PILOTO “SAN LUIS”	194
7.1. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	194
7.2. PRESUPUESTO GENERAL.....	194
7.3. PRESUPUESTO DE MATERIALES.....	197
7.4. PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA	198
7.5. PRESUPUESTO DE MAQUINARIA	199
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	200
8.1. CONCLUSIONES	200
8.2. RECOMENDACIONES	201
Bibliografía	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Proyecto	1
Figura 2. Componente Básico de tratamiento de aguas residuales	12
Figura 3. Esquema de fuentes de agua, usos benéficos y necesidad de tratamiento	13
Figura 4. Mapa de ubicación de PTAR en Bolivia.....	33
Figura 5. Presencia de PTAR en estudios realizados en Bolivia.....	34
Figura 6. Presencia de PTAR en estudios realizados por departamentos.....	34
Figura 7. Presencia de PTAR en estudios realizados por región.....	35
Figura 8. Tecnologías identificadas en las PTAR estudiadas.....	36
Figura 9. Niveles de tratamiento por departamentos.....	36
Figura 10. Operación de PTAR en estudios realizados en Bolivia	37
Figura 11. Efectividad en PTAR con base en DQO en estudios realizados en Bolivia	38
Figura 12. Sección transversal del canal de rejillas.....	89
Figura 13. Esquema de rejas de limpieza manual	90
Figura 14. Desarenador (planta y corte longitudinal).....	94
Figura 15. Desarenador de dos unidades en paralelo (vista en planta)	95
Figura 16. Sedimentación de una partícula	98
Figura 17. Modelo de sedimentación de una partícula de arena	99
Figura 18. Esquema de un desarenador.....	102
Figura 19. Proceso aerobio.....	106
Figura 20. Proceso anaerobio	106
Figura 21. Sistema convencional de tratamiento mediante lodos activados	118
Figura 22. Sistema MBR con membranas sumergidas.....	121
Figura 23. Diseño esquemático de un reactor uasb	134
Figura 24. Esquema de planta de tratamiento compacta	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Fotografías del muestreo realizado “Canal Parshall-San Luis”	51
Ilustración 2. Conservación de muestras para su posterior traslado al laboratorio	53
Ilustración 3. Proceso aerobio	107
Ilustración 4. Proceso Anaerobio	107
Ilustración 5. Características de cuatro tecnologías de tratamiento de agua residual.....	125
Ilustración 6. Introducción de Datos al "UASB plant pro"	144
Ilustración 7. Ingreso de caudales	145
Ilustración 8. Caudales totales y cargas orgánicas	146
Ilustración 9. Evaluación de características fisicoquímicas aguas residuales	147
Ilustración 10. Calculo hidráulico desarenador.....	148
Ilustración 11. Dimensiones de canales de desarenador	149
Ilustración 12. Ingreso parámetros diseño digester UASB	150
Ilustración 13. Separadores GLP.....	151
Ilustración 14. Eficiencias de remoción y producción de biogás	152
Ilustración 15. CO2 equivalente.....	153
Ilustración 16. Dimensionamiento biofiltro	154
Ilustración 17. Dimensionamiento clarificador	155
Ilustración 18. Dimensionamiento Lecho de secado de lodos	156
Ilustración 19. Eficiencias de tratamiento	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mecanismos predominantes	6
Tabla 2. Tipos de agua	7
Tabla 3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	17
Tabla 4. Clasificación de los microorganismos.....	24
Tabla 5. Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso	30
Tabla 6. Límites permisibles para descargas líquidas en mg/l	31
Tabla 7. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores.....	32
Tabla 8. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual	39
Tabla 9. Muestras Compuestas 2002.....	43
Tabla 10. Muestras compuestas 2012	45
Tabla 11. Muestra compuesta mes febrero 2010.....	48
Tabla 12. Muestra compuesta mes de febrero 2011	48
Tabla 13. Muestra compuesta mes de febrero 2012.....	49
Tabla 14. Días de toma de muestras (1ra Campaña).....	51
Tabla 15. Días de toma de muestras (2ra Campaña).....	51
Tabla 16. Valores promedio de agua residual de Tarija en 24 horas 1ra campaña	53
Tabla 17. Valores promedio de agua residual de Tarija en 24 horas 2da campaña.....	54
Tabla 18. Caudales promedio diario	55
Tabla 19. DBO5 promedio diario.....	56
Tabla 20. DQO promedio diario	57
Tabla 21. Temperaturas promedio (2010-2012).....	58
Tabla 22. pH promedio (2010-2012).....	59
Tabla 23. Solidos Sedimentable promedio (2010-2012).....	59
Tabla 24. Conductividad promedio (2010-2012).....	60
Tabla 25. DBO5 promedio (2010-2012).....	61
Tabla 26. DQO promedio (2010-2012).....	61
Tabla 27. Caudales promedio (2010-2012).....	62
Tabla 28. Valores promedio de agua residual de Tarija en 24 horas 1ra campaña	63
Tabla 29. Valores promedio de agua residual de Tarija en 24 horas 2da campaña.....	64
Tabla 30. Valores promedio de agua residual de Tarija en 24 horas	64
Tabla 31. Análisis de Biodegradabilidad Día martes	66
Tabla 32. Análisis biodegradabilidad día Miércoles	67
Tabla 33. Análisis de Biodegradabilidad día Jueves	68
Tabla 34. Análisis de Biodegradabilidad día Viernes	69
Tabla 35. Análisis de Biodegradabilidad día Sábado.....	70
Tabla 36. Análisis de biodegradabilidad día Domingo	71

Tabla 37. Composición característica de las aguas residuales domésticas	73
Tabla 38. Análisis de concentración de los parámetros en estudio	74
Tabla 39. Valores medios anuales de Afluente a San Luis (2002-2009)	79
Tabla 40. Valores medios anuales de Afluente a San Luis (2010-2013)	79
Tabla 41. Valores medio diario de Afluente a San Luis (2019).....	80
Tabla 42. Datos agua residual (2010-2019)	82
Tabla 43. Características de las aguas residuales de la ciudad de Tarija	82
Tabla 44. Factores por considerar en la selección y evaluación de los procesos unitarios	84
Tabla 45. Velocidades de flujo (v).....	87
Tabla 46. Espesores y espaciamientos de rejillas.....	87
Tabla 47. Clasificación y tamaño de barras	88
Tabla 48. Información típica para el diseño Metcalf y Eddy	92
Tabla 49. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.	101
Tabla 50. Proceso biológico de tratamiento de aguas residuales	109
Tabla 51. Eficiencias de remoción de lagunas de estabilización.....	111
Tabla 52. Eficiencia de remoción del sistema de humedales	112
Tabla 53. Eficiencia lagunas aireadas aerobias	114
Tabla 54. Eficiencia lagunas aireadas facultativas.....	114
Tabla 55. Eficiencia de remoción de biófiltrros	116
Tabla 56. Eficiencia de remoción lodos activados	118
Tabla 57. Eficiencia de remoción de reactor UASB	120
Tabla 58. Eficiencia de remoción del sistema MBR.....	122
Tabla 59. Análisis de los procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales	124
Tabla 60. Selección de la Óptima Tecnología más Apropiada para Tarija	126
Tabla 61. Composición química de bacterias metanogénicas.....	130
Tabla 62. Diámetros de arena a remover.....	160
Tabla 63. Eficiencia de remoción del efluente.....	175
Tabla 64. Eficiencias del sistema	181
Tabla 65. Microorganismos comúnmente encontrados en el agua residual municipal	182
Tabla 66. métodos de desinfección	183
Tabla 67. Tabla comparativa.....	184
Tabla 68. Presupuesto general.....	195
Tabla 69. Presupuesto de materiales	197
Tabla 70. Presupuesto de mano de obra.....	198
Tabla 71. Presupuesto de maquinaria.....	199

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Caudales promedio diario.....	55
Gráfica 2. DBO5 promedio diario.....	56
Gráfica 3. DQO promedio diario.....	57
Gráfica 4. Temperaturas promedio (2010-2012).....	58
Gráfica 5. pH promedio (2010-2012).....	59
Gráfica 6. Solidos Sedimentable promedio (2010-2012).....	60
Gráfica 7. Conductividad promedio (2010-2012).....	60
Gráfica 8. DBO5 promedio (2010-2012).....	61
Gráfica 9. DQO promedio (2010-2012).....	62
Gráfica 10. Caudales promedio (2010-2012).....	62
Gráfica 11. Análisis de Concentración de Sólidos Suspendidos Totales.....	74
Gráfica 12. Análisis de Concentración de Sólidos Totales Disueltos.....	75
Gráfica 13. Análisis de Concentración de Sólidos Sedimentables.....	75
Gráfica 14. Análisis de Concentración de DBO5.....	76
Gráfica 15. Análisis de Concentración de DQO.....	76
Gráfica 16. Análisis de Concentración de Fósforo Total.....	77
Gráfica 17. Análisis de Concentración de Nitrógeno Total.....	77
Gráfica 18. Valores medios anuales DBO5.....	80
Gráfica 19. Valores medios anuales DQO.....	81
Gráfica 20. Valores medios anuales Caudal.....	81