

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRAULICAS Y SANITARIAS



**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE LA
DEMOSTRACIÓN CON TECNOLOGÍA CSBR DESDE SU CONSTRUCCIÓN,
PUESTA EN MARCHA Y FUNCIONAMIENTO EN EL BARRIO
CATEDRAL – TARIJA (2018 – 2019)”**

YESICA LIZETH MENDEZ SULCA

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.

Semestre II – 2019

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRAULICAS Y SANITARIAS

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE LA
DEMOSTRACIÓN CON TECNOLOGÍA CSBR DESDE SU CONSTRUCCIÓN,
PUESTA EN MARCHA Y FUNCIONAMIENTO EN EL BARRIO
CATEDRAL – TARIJA (2018 – 2019)”**

YESICA LIZETH MENDEZ SULCA

Semestre II – 2019

TARIJA – BOLIVIA

El tribunal evaluador del presente trabajo, no se solidariza con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Modesto y Nélide. A mi hermana Romina. Por ser fuente de inspiración, por su constante sacrificio, y porque ellos supieron guiarme por la senda del esfuerzo y la superación permanente.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, por ser motivación para cada día continuar sin tirar la toalla.

Gracias a mis padres y hermana, que fueron mis mayores promotores durante este proceso, por apoyarme en cada decisión y por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de este proyecto.

Gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y a la carrera de Ingeniería civil por la oportunidad de realizarme como profesional.

Al Ing. Ivar Colodro Mendivil por brindar su tiempo y ayuda para la elaboración de este proyecto.

A COSAALT y ROTHWELL por estar siempre dispuestos a contribuir en la realización del presente trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I CONSIDERACIONES GENERALES	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Problemática	2
1.1. Justificación	3
1.1.1. Académica	3
1.1.2. Técnica.....	4
1.1.3. Social	4
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Limitaciones del estudio	5
CAPÍTULO II MARCOS DE REFERENCIA.....	6
2.1. Marco teórico.....	6
2.1.1. Las Aguas Residuales – Definición	6
2.1.2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	9
2.1.3. Tratamiento de aguas residuales	14
2.1.4. Tecnologías existentes	19
2.1.5. Procesos convencionales de Eliminación Biológica de Nutrientes (BNR)	31

2.1.6.	Tecnología: Sistema de Reactor de Secuencia de Flujo Continuo por Lotes y Nivel Constante (CSBR).....	40
2.2.	Marco normativo.....	47
2.2.1.	Nueva Constitucional Política del Estado.....	47
2.2.2.	Ley N°1333 del Medio Ambiente, promulgada el 27 de abril de 1992.....	49
2.2.3.	Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, 29 de octubre de 1999.....	53
2.2.4.	Ley N°300, Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien.....	54
2.2.5.	Norma Boliviana de Diseños de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial (NB688).....	56
2.2.6.	Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura.....	57
2.2.7.	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).....	60
2.2.8.	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).....	61
2.3.	Marco Institucional	65
2.3.1.	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)	65
2.3.2.	La Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija Limitada (COSAALT LTDA.).....	66
2.3.3.	Convenio Específico Interinstitucional entre la Facultad de Ciencias y Tecnología y la Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario	67

2.3.4.	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA).....	67
2.3.5.	Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB)	68
2.3.6.	ROTHWELL WATER CO. LTD.....	70
2.3.7.	Convenio de Cooperación Interinstitucional Internacional (CCII).....	74

**CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA CON
TECNOLOGÍA CSBR EN EL BARRIO CATEDRAL 78**

3.1.	Antecedentes Generales	78
3.1.1.	Ubicación Geográfica	78
3.1.2.	Población	80
3.1.3.	Dotación Actual l/hab/d.....	81
3.1.4.	Tarifas del Alcantarillado Sanitario.....	81
3.1.5.	Descripción actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Tarija.....	82
3.2.	Diseño de la Planta Demostrativa.....	91
3.2.1.	Selección del sitio de ubicación.....	91
3.2.2.	Ubicación del sitio y Delimitación del área de influencia de aporte de las aguas residuales a la Planta de Demostración	91
3.2.3.	Parámetros de diseño para la construcción de la Planta de Demostración	96
3.2.4.	Población que aporta sus aguas servidas a la PTAR de Demostración	96
3.2.5.	Caudal de ingreso actual a la Planta de Demostración	100

3.2.6.	Dimensionamiento	108
3.2.7.	Operación HMI (Software de Control):.....	112
CAPÍTULO IV FASE CONSTRUCTIVA DE LA PLANTA		124
4.1.	Ubicación, replanteo y excavación	124
4.2.	Instalación de Unidades de Tratamiento.....	126
4.3.	Interconexión de Unidades	133
4.4.	Equipos de Monitoreo y Funciones de la Planta de Demostración para Tarija ...	141
4.4.1.	Funciones de la Planta	141
4.4.2.	Principales equipos:	146
CAPÍTULO V PUESTA EN MARCHA		158
5.1.	Puesta en Marcha	158
5.1.1.	Selección y adecuación de los lodos para el tratamiento aeróbico	158
5.1.2.	Análisis del rendimiento y evolución del tratamiento de los lodos	167
5.1.3.	Resultados del MLSS.....	173
5.2.	Funcionamiento.....	184
5.2.1.	Características del afluente y efluente del sistema y/o proceso.....	184
5.2.2.	Análisis de la Información.....	190
5.3.	Determinación de los costos de PTAR de Demostración	197
5.3.1.	Costos de implementación total del proyecto de la planta demostrativa	197
5.3.2.	Operación y mantenimiento del sistema.....	198

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 199

6.1. Conclusiones..... 199

6.2. Recomendaciones 204

Referencias Bibliográficas 206

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3. 1. Municipio de Tarija: Proyecciones de Población por Sexo, 2017-2020 (En Miles de Habitantes).....	80
Gráfica 5. 1. Resumen de resultados del MLSS.....	183
Gráfica 5. 2. Resultados del afluente y efluente de diseño de la PTAR de Demostración en el Barrio Catedral	184
Gráfica 5. 3. Resultados de la eficiencia en el funcionamiento de la planta en época de lluvias	191
Gráfica 5. 4. Resultados de la eficiencia de DBO (5 días) en época de lluvias	192
Gráfica 5. 5. Resultados de la eficiencia de DQO en época de lluvias	192
Gráfica 5. 6. Resultados de la eficiencia de Solidos Suspendidos en época de lluvias	193
Gráfica 5. 7. Resultados de la eficiencia de Nitrógeno Total en época de lluvias	193
Gráfica 5. 8. Resultados de la eficiencia de Fosforo Total en época de lluvias.....	194
Gráfica 5. 9. Resultados de la eficiencia de Amoniacaco en época de lluvias	194
Gráfica 5. 10. Resultados de la eficiencia de Coliformes Fecales en época de lluvias.....	195

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Clasificación de los Microorganismos	12
Cuadro 2. 2. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	12
Cuadro 2. 3. Descripción de las etapas del proceso de la PTAR	41
Cuadro 2. 4. Directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego	59
Cuadro 2. 5. Guías sugeridas para aguas tratadas en el reúso agrícola y sus requerimientos de tratamiento	60
Cuadro 2. 6. Modificaciones del Proceso de Lodo Activado.....	63
Cuadro 3. 1. El caudal de demanda proyectada	81
Cuadro 3. 2. Actual Estructura Tarifaria de COSAALT Ltda. a junio de 2018 Expresado en bolivianos	82
Cuadro 3. 3. Colectores del sistema de alcantarillado sanitario.....	84
Cuadro 3. 4. Detalle de Cámaras Sépticas	89
Cuadro 3. 5. Parámetros requeridos y a ser tratados	96
Cuadro 3. 6. Informe de COSAALT hasta enero de 2019	97
Cuadro 3. 7. Informe de COSAALT hasta mayo de 2019	98
Cuadro 3. 8. Informe de COSAALT hasta septiembre de 2019	99
Cuadro 3. 9. Análisis de la recopilación de la información de la población.....	99
Cuadro 3. 10. Dotación media (l/hab/d).....	102
Cuadro 3. 11. Dotación media (l/hab/d) de acuerdo a la población actual	103
Cuadro 3. 12. Caudal medio diario doméstico (m ³ /d).....	105
Cuadro 3. 13. Caudal máximo diario doméstico (m ³ /d).....	106

Cuadro 3. 14. Valores de infiltración en tubos (l/seg/m)	107
Cuadro 3. 16. Caudal de conexiones erradas (m ³ /d/m).....	107
Cuadro 3. 17. Caudal máximo doméstico (m ³ /d).....	108
Cuadro 3. 18. Resumen del dimensionamiento para la PTAR de Demostración en el Barrio Catedral - Tarija	109
Cuadro 3. 19. Balance de Masa.....	111
Cuadro 5. 1. Comparación de los resultados de los análisis de laboratorio para determinar el mejor lodo para la siembra en la PTAR de Demostración	167
Cuadro 5. 2. Resultados del SV30, MLSS y SVI.....	173
Cuadro 5. 3. Resumen de los resultados del MLSS	181
Cuadro 5. 4. Muestras de los parámetros de diseño para el biorreactor.....	184
Cuadro 5. 5. Muestras de la calidad del afluente en PTAR de Demostración en el Barrio Catedral en marzo de 2019	185
Cuadro 5. 6. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 21 de noviembre de 2019 a las 15:18 pm.....	185
Cuadro 5. 7. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 03 de diciembre de 2019 a las 09:00 am	186
Cuadro 5. 8. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 03 de diciembre de 2019 a las 13:00 pm.....	186
Cuadro 5. 9. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 08 de diciembre de 2019 a las 09:00 am	187

Cuadro 5. 10. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 08 de diciembre de 2019 a las 13:00 pm.....	187
Cuadro 5. 11. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 11 de diciembre de 2019 a las 08:30 am.....	188
Cuadro 5. 12. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 17 de diciembre de 2019 a las 08:30 am.....	188
Cuadro 5. 13. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 21 de enero de 2020 a las 17:00 pm.....	189
Cuadro 5. 14. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 11 de febrero de 2020 a las 10:30 am	189
Cuadro 5. 15. Muestra de la calidad del agua residual en el funcionamiento de la planta para el 18 de febrero de 2020 a las 10:20 am	190
Cuadro 5. 16. Comparación de resultados en el funcionamiento de la PTAR del Barrio Catedral con las diferentes normativas.....	196
Cuadro 5. 17. Proyecto: PTAR de Demostración de 100 m ³ /d - Tarija, Bolivia ...	197
Cuadro 5. 18. Costo de operación y mantenimiento PTAR de Demostración, barrio Catedral de 100 m ³ /día (US\$/mes)	198
Cuadro 6. 1. Demostración de la eficiencia de la PTAR del barrio Catedral.....	201
Cuadro 6. 2. Comparación de la eficiencia con el actual tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tarija "Lagunas de Estabilización"	202
Cuadro 6. 3. Comparación de la tarifa estimada	202

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales..	15
Figura 2. 2. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento las aguas residuales	17
Figura 2. 3. Esquema del flujo de energía contenida en el sustrato en función del tipo de tratamiento aplicado (caso de sustrato fácilmente biodegradable).....	18
Figura 2. 4. Ejemplos de integración de trenes de tratamiento de aguas residuales ...	19
Figura 2. 5. Rejillas y sistemas de desarenado. a) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil b) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales Cerro de la Estrella, México	20
Figura 2. 6. Sedimentadores. a) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales, Brasil b) Planta de tratamiento de aguas residuales municipales Cerro de la Estrella, México	21
Figura 2. 7. Principales fuentes de olores en una planta de tratamiento	24
Figura 2. 8. Lodos activados, a) Planta de tratamiento de aguas residuales Santa Rosa Jáuregui, México b) Planta de tratamiento de aguas residuales de Coyoacán, México.....	25
Figura 2. 9. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales primera generación	28
Figura 2. 10. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales segunda generación	29
Figura 2. 11. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales tercera generación	30
Figura 2. 12. Bardenpho Modificado de 3 etapas (A2O).....	31

Figura 2. 13. Phoredox (A/O)	31
Figura 2. 14. Bardenpho Modificado de 5 etapas	32
Figura 2. 15. UCT (VIP)	32
Figura 2. 16. MUCT (UCT Modificado)	33
Figura 2. 17. Flujo de Proceso de PTAR – Barrio Catedral.....	41
Figura 2. 18. Método de Operación del sistema CSBR	46
Figura 2. 19. Historia ROTHWELL	71
Figura 3. 1. Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Nacional (BOLIVIA)....	79
Figura 3. 2. Ubicación del Proyecto Dentro del Contexto Regional (TARIJA)	79
Figura 3. 3. Plano de la Mancha Urbana de la Ciudad de Tarija donde está emplazado el Proyecto (CERCADO).....	80
Figura 3. 4. Colectores Habilitados, No Habilitados y Proyectados	83
Figura 3. 5. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis.....	87
Figura 3. 6. Área de Aporte a las Lagunas de Estabilización (Actual)	88
Figura 3. 7. Ubicación de las 16 Tanques Sépticos + PTAR San Luis	90
Figura 3. 8. Barrios del GAM de Tarija y Ubicación del Barrio "Catedral"	93
Figura 3. 9. Ubicación del Barrio "Catedral"	94
Figura 3. 10. Colectores de color verde hacia la PTAR Catedral	95
Figura 3. 11. Proceso de la PTAR – Barrio Catedral	110
Figura 3. 12. Sistema de monitoreo central, no requiere un inicio de sección.....	113
Figura 3. 13. Operación del programa	115
Figura 3. 14. Programación lógica CSBR HMI	118
Figura 3. 15. Proceso de lavado	119

Figura 3. 16. Tendencia del Programa	120
Figura 3. 17. Alarma del programa	122
Figura 3. 18. Reporte del programa	123
Figura 5. 1. Llevado de la manguera hacia el sitio para extraer el lodo.....	158
Figura 5. 2. Ubicación de la manguera para la extracción	159
Figura 5. 3. Otra opción para tratar de extraer el lodo	159
Figura 5. 4. Observación de tipo de lodo	159
Figura 5. 5. Recogiendo la muestra de lodo.....	160
Figura 5. 6. Insertando el aporte de las aguas residuales hacia la PTAR del barrio Catedral	160
Figura 5. 7. Mezclando con el lodo del rio aguas abajo en estudio	161
Figura 5. 8. Finalizando la prueba en la pecera de la siguiente manera.....	161
Figura 5. 9. Muestra de sedimentación del lodo	161
Figura 5. 10. Obteniendo la muestra de la cámara séptica de San Jorge II.....	162
Figura 5. 11. Obteniendo la muestra de la cámara séptica de San Luis.....	162
Figura 5. 12. Realizando la absorción de lodo	163
Figura 5. 13. Carro cisterna completamente llena en la planta de tratamiento en Santa Cruz	163
Figura 5. 14. Descarga del lodo hacia la PTAR catedral	164
Figura 5. 15. Tanque aeróbico en funcionamiento con la inserción de lodo	164
Figura 5. 16.Muestra de sedimentación del lodo en el tanque aeróbico y tanque SBR	164
Figura 5. 17. Lodo de la PTAR de la cervecería.....	165

Figura 5. 18. Recogida de lodo de la PTAR de la cervecería	165
Figura 5. 19. Inserción del lodo en el tanque aeróbico	166
Figura 5. 20. Actualmente las muestras de sedimentación en el tanque anóxico, anaeróbico, aeróbico y SBR	166
Figura 5. 21. SV30 Anóxico – Anaeróbico – Aeróbico – SBR	168
Figura 5. 22. SV30 Afluente – Efluente.....	168
Figura 5. 23. Material necesario para realizar las pruebas de MLSS.....	169
Figura 5. 24. Recogida de la muestra en probeta de 50 ml	170
Figura 5. 25. Vertido de la Muestra en un juego de matraz.....	170
Figura 5. 26. retirar lo sobrante en la probeta, insertando agua limpia con una piseta.....	171
Figura 5. 27. Dejar secando las muestras en un horno.....	171
Figura 5. 28. Se pesa la muestra seca en una balanza	172

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A – 1	CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA SEGÚN SU APTITUD DE USO
ANEXO A – 2	VALORES MAXIMOS ADMISIBLES DE PARÁMETROS EN CUERPOS RECEPTORES
ANEXO A – 3	LIMITES PERMISIBLES PARA DESCARGAS LÍQUIDAS EN mg/l
ANEXO B	CONVENIO ESPECÍFICO INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA Y LA COOPERATIVA DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO
ANEXO C – 1	LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE BENEFICIARIOS HASTA EL MES DE ENERO DE 2019
ANEXO C – 2	ENCUESTA REALIZADA A LOS VECINOS
ANEXO C – 3	LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE BENEFICIARIOS HASTA EL MES DE MAYO DE 2019
ANEXO C – 4	LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE BENEFICIARIOS HASTA EL MES DE SEPTIEMBRE DE 2019
ANEXO D – 1	MEMORIA DE DIMENSIONAMIENTO DEL DISEÑO
ANEXO D – 2	PLANOS DE DISEÑO
ANEXO D – 3	DIBUJOS ESQUEMÁTICOS DE LOS TANQUES
ANEXO E	ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS LODOS
ANEXO F	ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL AFLUENTE Y EFLUENTE A LA PTAR DE DEMOSTRACION DEL BARRIO CATEDRAL