

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS



**CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS GENERADAS EN EL MATADERO Y  
DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES INDUSTRIALES CON EL POSTERIOR  
APROVECHAMIENTO DE SUS SUBPRODUCTOS**

**Aplicación: Matadero Municipal de la Ciudad de Tarija**

Por:

JUSTO MAGUIVER CUTIPA LEON

Semestre I - 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B° .....

M.Sc. Ing. Jaime Orlando Zenteno Benitez.

**DOCENTE MATERIA CIV-502**

.....  
M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozávez.

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa.

**VICEDECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Y TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Adel Gonzalo Cortez Maire.**

.....  
**Ing. Nelson Rodríguez Lezana.**

.....  
**Ing. Ivan Medina Hoyos PhD.**

El docente y 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:**

A Dios porque en los momentos difíciles y de angustia me dio la fuerza para continuar adelante y sin desfallecer.

A mis padres Susana y Justo por el sacrificio que hicieron para que pueda salir adelante.

A mi tía Ely que siempre confió en mí y que desde el cielo siempre me está apoyando.

A mis hermanos Gabriela y Diego por ser mi motivación de vida.

A mi abuela Lucía por todo el cariño y apoyo.

### **Agradecimientos:**

A mis padres por su apoyo incondicional y por sus palabras de aliento en los momentos más difíciles.

Al ingeniero Iván Medina por todos los buenos consejos y recomendaciones para la culminación del proyecto.

Al ingeniero Ivar Colodro por su asesoramiento durante el desarrollo de la investigación.

Al ingeniero Mario Gamarra por todo el apoyo brindado a lo largo del proyecto.

Al director del matadero municipal, Julio Rodríguez por su disposición para facilitar las instalaciones.

A mi compañera de tesis María Coca por su gran ayuda.

A mi amigo Kevin Serrano por la gran ayuda en la culminación del proyecto.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”.

**Mahatma Gandhi.**

## **Resumen**

La descarga de las aguas residuales en el matadero municipal genera impactos ambientales negativos donde se ven comprometidos la calidad y la salud de la población.

Debido a estos problemas se puede contemplar la contaminación que sufre el río Guadalquivir; el último estudio realizado por la contraloría, refleja la preocupante contaminación que atraviesa.

El mayor contaminante industrial de Tarija es el Matadero Municipal, descargando sus efluentes en un principio a la quebrada cabeza de toro (aprox. 370 m) y posteriormente desemboca al río Guadalquivir (aprox. 3177 m).

Ante la gran falta de información que se tiene de la calidad del efluente de las aguas residuales industriales generadas en el Matadero Municipal de Tarija y la indecisión que se tiene para la elección de una tecnología adecuada para el diseño de una planta de tratamiento.

Se plantea un proyecto consistente en dos partes:

1. La primera parte constituida en la caracterización, ubicación, diseño de una planta piloto con tecnología UASB y los lineamientos necesarios para solicitar el financiamiento para su construcción.
2. La segunda parte enfocado en la construcción, operación y procesamiento de los datos.

Respecto a esto la presente tesis se enfocó en la realización de la primera parte, dejando la otra parte del proyecto a un estudiante interesado en su culminación, teniendo en la primera parte todas las herramientas para continuar con el proyecto.

## ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	Página
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 antecedentes.....	1
1.2 Problemática.....	1
1.3 Justificación del tema.....	1
1.3.1 Académica.....	1
1.3.2 Técnica.....	2
1.3.3 Social.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos.....	2
1.5 Hipótesis.....	3
1.5.1 Hipótesis general.....	3
1.6 Limitaciones del Estudio.....	3
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>4</b>
<b>MARCOS DE REFERENCIA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Marco teórico.....	4
2.1.1 Reactores anaerobios U. A. S. B.....	4
2.1.2 Fundamentos del proceso UASB.....	8
2.1.3 Parámetros de seguimiento en un reactor UASB.....	8
2.1.4 Experiencias de la tecnología UASB.....	11
2.2 Marco conceptual.....	16
2.2.1 Generalidades de aguas residuales.....	16
2.2.2 Aguas residuales industriales.....	16
2.3 Marco normativo.....	17



2.3.1 Normativa de aplicación general.....	17
2.3.2 Normativa de aplicación en las aguas residuales.....	18
2.4. Marco institucional.....	18
2.4.1 Diagnóstico institucional.....	18
2.4.2 Parámetros máximos admisibles para la descarga en el alcantarillado sanitario.....	19
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>20</b>
<b>DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>20</b>
3.1 Ubicación geográfica del proyecto.....	20
3.1.1 Localización.....	20
3.2 El matadero municipal.....	22
3.2.1 Etapas del proceso de faeneo.....	23
3.2.2 Determinación del área de influencia del proyecto.....	28
3.2.3 Características físicas del área de influencia.....	28
3.2.4 Clima.....	29
3.2.5 Condiciones socioeconómicas.....	30
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>39</b>
<b>DESARROLLO METODOLÓGICO.....</b>	<b>39</b>
4.1 Recursos de la investigación.....	39
4.1.1 Materiales.....	39
4.1.3 Laboratorio.....	40
4.1.4 Transporte de muestras.....	40
4.2. Metodologías utilizadas en el ensayo de laboratorio.....	41
4.2.1. Caracterización de las aguas residuales.....	41
4.2.2 Protocolo caracterización de aguas residuales.....	42
4.2.3 Análisis del agua residual.....	46
4.2.4 Resultados de la caracterización inicial.....	47
4.2.5 Recopilación y análisis de información.....	47
4.3 Calidad del agua residual doméstica en la ciudad de Tarija.....	58
4.3 Comparación de los parámetros adoptados con las normas vigentes en el país.....	59

4.3.1 Comparación con el Anexo 13-C del Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero.....	59
4.3.2 Comparación con la normativa del alcantarillado sanitario COSAALT LTDA.....	60
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>61</b>
<b>ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO A ESCALA REAL.....</b>	<b>61</b>
5.1. Caudal en efluentes industriales.....	61
5.1.1 Vertederos de pared delgada.....	62
5.1.2 Medición con recipientes de volumen conocido.....	62
5.2 Método de medición utilizado.....	63
5.3 Medición del caudal en el Matadero Municipal.....	63
5.4 Medición del caudal en el día del muestreo.....	64
5.4.1 Método volumétrico.....	64
5.5 Estimación de los caudales de diseño para una planta de tratamiento a escala real...69	69
5.5.1 Caudal proyectado.....	69
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>74</b>
<b>ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>74</b>
6.1. Introducción.....	74
6.2. Proceso de tratamiento.....	76
6.2.1. Pretratamiento.....	78
6.2.2 Homogenización.....	88
6.2.3 Reactor anaerobio UASB.....	88
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>95</b>
<b>DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO.....</b>	<b>95</b>
7.1 Caudal máximo horario para el diseño del pretratamiento.....	95
7.2 Criterio de decisión de los caudales para el diseño de la planta piloto.....	95
7.3 Dimensionamiento del canal de rejillas a escala real.....	97
7.4 Dimensionamiento tanque de almacenamiento.....	101
7.2.1 Agitador.....	102
7.4 Sistema de bombeo.....	103

7.5 Reactor UASB.....	108
7.4 Eficiencia planta de tratamiento piloto.....	121
7.5 Subproductos generados por la planta de tratamiento piloto.....	121
7.6 Calidad de una planta real.....	121
7.7 Disposición de las aguas residuales generadas en la planta piloto.....	122
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>124</b>
<b>LINEAMIENTOS DE POSTULACIÓN CONCURSO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN TEMÁTICAS DE AGUA Y SANEAMIENTO .....</b>	<b>124</b>
8.1 Introducción.....	124
8.1.1 Objetivos.....	124
8.1.2 Justificación.....	125
8.1.3 Metodología.....	125
8.2 Estimación del costo de la implementación de la planta piloto.....	125
<b>CAPÍTULO IX.....</b>	<b>126</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>126</b>
9.1 Conclusiones.....	126
9.2 Recomendaciones.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXOS.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de un reactor UASB.....	6
Figura 2. Ptars en Bolivia.....	11
Figura 3. Ubicación geográfica de Tarija.....	31
Figura 4. Tasas de crecimiento ciudad de Tarija.....	36
Figura 5. Proyección Poblacional ciudad de Tarija.....	38
Figura 6. Lugares recomendados para la toma de muestras.....	46
Figura 7. Situación óptima para el tratamiento de efluentes industriales.....	76
Figura 8. Diagrama de proceso de flujo planta de tratamiento piloto.....	77
Figura 9. Sección transversal del canal de rejillas.....	84
Figura 10. Esquema de rejas de limpieza manual.....	85
Figura 11. Área de implementación de la planta piloto.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de remoción reactor UASB.....	7
Tabla 2. Criterios de selección para diferentes procesos anaerobios no convencionales.	11
Tabla 3. Velocidad de puesta en marcha.....	12
Tabla 4. Comportamiento de diferentes reactores anaerobios alimentados con aguas residuales de matadero.....	12
Tabla 5. Resultados etapa estacionaria 1.....	14
Tabla 6. Resultados etapa estacionaria 2.....	15
Tabla 7. Resultados etapa estacionaria 3.....	16
Tabla 8. Parámetros máximos admisibles para la descarga en el alcantarillado sanitario.....	19
Tabla 9. Localización del Estudio.....	21
Tabla 10. Distritos y barrios ciudad de Tarija.....	33
Tabla 11. Determinación de las alícuotas.....	43
Tabla 12. Resultados caracterización inicial agua residual.....	47
Tabla 13. Recopilación caracterización de diferentes autores.....	49
Tabla 14. Promedio y desviación de los parámetros Hudoy Céspedes.....	50
Tabla 15. Promedio y desviación de los parámetros Rafael Vilte.....	52
Tabla 16. Promedio y desviación de los parámetros Rafael Vilte.....	53
Tabla 17. Promedio y desviación de los parámetros caracterización propia.....	55
Tabla 18. Valores contaminantes medios diarios de los vertidos generados por los mataderos Características.....	56
Tabla 19. Parámetros de contaminación.....	57
Tabla 20. Calidad del agua residual doméstica en la ciudad de Tarija.....	58
Tabla 21. Primer aforo.....	65
Tabla 22. Segundo aforo.....	67
Tabla 23. Índices de crecimiento.....	70
Tabla 24. Periodos de diseño (años).....	70
Tabla 25. Métodos de proyección en función al consumo actual.....	71
Tabla 26. Dotación media diaria.....	72

Tabla 27. Velocidades de flujo.....	81
Tabla 28. Espesores y espaciamientos de rejillas.....	82
Tabla 29. Clasificación y tamaño de barras.....	82
Tabla 30. Información típica para el diseño.....	87
Tabla 31. Accesorios sistema de bombeo.....	105
Tabla 32. Eficiencias del UASB.....	108
Tabla 33. Resultados del estudio realizado por Hudoy Céspedes.....	110
Tabla 34. Velocidades en las aberturas para el decantador.....	118
Tabla 35. Carga de aplicación superficial y tiempos de retención hidráulica en el compartimento de sedimentación.....	120
Tabla 36. Dimensiones finales planta piloto.....	120
Tabla 37. Eficiencias de la planta piloto.....	121
Tabla 38. Producción de subproductos del UASB.....	121

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Temperatura de la ciudad de Tarija.....	30
Gráfica 2. Recopilación caracterización Hudoy Céspedes.....	50
Gráfica 3. Recopilación caracterización Rafael Vilte.....	51
Gráfica 4. Recopilación caracterización EDTP.....	53
Gráfica 5. Recopilación caracterización propia.....	54
Gráfica 6. Variación del Caudal en función del tirante.....	65
Gráfica 7. Variación del caudal en función de la hora.....	66
Gráfica 8. Variación del Caudal en función del tirante.....	67
Gráfica 9. Variación del caudal en función de la hora.....	68
Gráfica 10. Altura manométrica en función del caudal.....	107
Gráfica 11. Comparación de volúmenes generados por un barrio y la planta piloto....	122

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización del proyecto a nivel departamental.....	20
Imagen 2. Localización del proyecto a nivel provincial.....	20
Imagen 3. Localización geográfica del proyecto.....	21
Imagen 4. Estabulación Matadero Municipal.....	23
Imagen 5. Desangrado Matadero Municipal.....	24
Imagen 6. Escaldado Matadero Municipal.....	25
Imagen 7. Evisceración Matadero Municipal.....	26
Imagen 8. Refrigeración Matadero Municipal.....	27
Imagen 9. Materiales y equipos utilizados en la caracterización.....	39
Imagen 10. Laboratorio RIMH.....	40
Imagen 11. Muestras.....	40
Imagen 12. Punto de muestreo y aforo.....	41
Imagen 13. Lugar de muestreo y aforo.....	42
Imagen 14. Mezcla de las muestras.....	44
Imagen 15. Muestras determinadas por medio de Alícuotas.....	44
Imagen 16. Aforo de las aguas residuales en el Matadero Municipal.....	64
Imagen 17. Rejilla fija con limpieza manual.....	79
Imagen 18. Rejilla mecánica.....	80



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1 - AFORO DEL AGUA RESIDUAL EN EL MATADERO MUNICIPAL

ANEXO 2 - VOLUMEN ALÍCUOTAS

ANEXO 3 - DETALLE DE LOS INGRESOS DE ANIMALES FAENADOS  
CORRESPONDIENTE AL MES DE SEPTIEMBRE DE 2018

ANEXO 4 - CERTIFICADOS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN EL  
MATADERO MUNICIPAL

ANEXO 6 - COMPUTOS MÉTRICOS

ANEXO 7 - PRESUPUESTO DE LA PLANTA PILOTO

ANEXO 8 - LINEAMIENTOS NECESARIOS

ANEXO 9 - FOTOGRAFÍAS

ANEXO 10 - ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y TRAZABILIDAD

ANEXO 11 - ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

ANEXO 12 - PLANOS