

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**



**“PROPUESTA Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
CON REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
LAVANDERÍA VEHICULAR MULTISERVI, DE LA CIUDAD DE  
CERCADO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

**POR: MELANIA CALIZAYA MENDOZA**

Tesis de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería en Medio Ambiente.

**GESTIÓN 2021**  
**ENTRE RIOS - TARIJA - BOLIVIA**

Vº.Bº.

.....  
M.Sc. Ing. Pedro Bernardo Cruz Gareca  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
M.Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zuñiga  
**DECANO a.i**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....  
M.Sc. Ing. Sebastián Ramos Mejía  
**VICEDECANO a.i**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

**APROBADO POR:**  
**TRIBUNAL**

.....  
PhD. Ing. Marco Antonio Guerrero Hiza  
**TRIBUNAL**

.....  
M.Sc. Ing. Luis Rolando Lafuente Retamozo  
**TRIBUNAL**

.....  
Ing. Gonzalo Condori Vásquez  
**TRIBUNAL**

El tribunal calificador del presente Trabajo de Investigación, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta única responsabilidad de la autora.

## **DEDICATORIA**

Con gran devoción y admiración a nuestro señor Dios todo poderoso, por su protección y misericordia especial en mi vida.

A mi amada madre Maura Mendoza Apaza y mi querido padre Fernando Calizaya Lia, que han sido mi soporte en mi vida, brindándome paciencia y protección con la cual me acompañan en mí caminar; siendo el mayor ejemplo para mi vida.

A mi hermano Beimar Calizaya Mendoza por ser tan extraordinario y especial en mi vida y constituir mi mayor apoyo e incentivo a pesar de su ausencia física.

A mis hermanas María Eugenia Calizaya Mendoza, Yesenia Calizaya Mendoza, Silvana Barrientos Pérez, por ser el complemento de mi vida.

A mi compañero de vida Natanael Escarzo Mogrovejo cuya casa y familia es mi segundo hogar, que han estado y estarán

conmigo en cada momento de dificultad y felicidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por mi vida, salud y la de mi familia.

Un agradecimiento muy especial al M.Sc. Ing. Luis Rolando Lafuente Retamozo. Por el constante y gran apoyo, entregando sus conocimientos para esta tesis.

Al honorable tribunal PhD. Ing. Marco Antonio Guerrero Hiza, Ing. Gonzalo Condori Vásquez por la entrega de su tiempo y conocimientos para la elaboración de este trabajo de tesis.

A mi docente guía M.Sc. Ing. Pedro Bernardo Cruz Gareca por todos los conocimientos y aportes brindados a esta tesis.

A mis padres, en especial a mi madre Maura Mendoza Apaza por su infinito amor, y por toda la ayuda que me ha brindado en todo lo que he necesitado y me ha hecho falta para mis estudios y poder lograr este objetivo en mi vida.

Al Lic. Noe de la Cruz Gómez propietario de la Lavandería Vehicular Multiservi por brindarme información para el desarrollo del presente trabajo.

### **PENSAMIENTO**

Todo lo hizo hermoso en su tiempo.  
También ha puesto lo eterno en el corazón

de ellos, sin lo cual el hombre no alcanza a percibir la obra que ha hecho Dios desde el principio hasta el fin.

*Eclesiastés 3:11*

## ÍNDICE

**Advertencia**

**Dedicatoria**

**Agradecimiento**

**Resumen**

**Páginas**

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. JUSTIFICACIÓN .....	3
3. FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	4
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
3.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMA .....	5
4. HIPÓTESIS .....	5
5. OBJETIVOS.....	5
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
5.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5

## **CAPÍTULO I**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

1.1. ANTECEDENTES.....	7
1.1.1. Nivel Internacional.....	7
1.1.2. Nivel Nacional .....	11
1.1.3. Nivel Local .....	11
MARCO CONCEPTUAL	
1.2. CONCEPTOS .....	14
1.2.1. Agua. ....	14
1.2.2. Aguas Residuales .....	14

1.2.3 Características de aguas residuales .....	15
1.2.3.1. Características físicas .....	15
1.2.3.2. Características químicas inorgánicas.....	17
1.2.3.3. Características químicas orgánicas.....	18
1.2.3.4. Características biológicas .....	20
1.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	21
1.2.5. Tratamiento de aguas residuales industriales .....	22
1.2.5.1. Etapas de tratamiento .....	22
1.2.5.1.1 Tratamiento preliminar .....	22
1.2.5.1.2. Tratamientos primarios .....	26
1.2.5.1.3. Tratamiento secundario .....	33
1.2.5.1.4. Tratamiento terciario .....	35
1.2.6. Lavandería de vehículos .....	36
1.2.6.1. Tipos de lavanderías vehiculares .....	36
1.2.6.1.1. Lavado manual .....	37
1.2.6.1.2. Lavado mecánico.....	37
1.2.6.1.2.1. Puente de lavado.....	37
1.2.6.1.2.2. Túnel o tren de lavado .....	38
1.2.6.1.2.3. Lavado ecológico.....	38
1.2.7. Las Plantas de tratamiento de lavanderías de vehículos.....	39
1.2.8. Sistema de recirculación de agua. ....	39
1.2.9. Planta de Tratamiento de aguas residuales con Recirculación o reutilización.....	39
1.2.10. Producción más limpia .....	40
1.2.11. Diseño en ingeniería.....	40
1.2.11.1 Fases del proceso de diseño. ....	40

## **MARCO LEGAL**

1.3.1. Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia. ....	41
1.3.2. Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333, 1992).....	41
1.3.4. Reglamento en Materia De Contaminación Hídrica (RMCH) .....	42
1.3.5. Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero - RASIM- .....	45
1.3.6. SEMAPA. (sf). Reglamento de descarga de aguas residuales industriales. En Capítulo III, Clasificación de los desechos industriales .....	45



## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	48
2.1.1. Ubicación Geográfica.....	48
2.1.2. Características físicas del área de estudio.....	53
2.2. MATERIALES .....	57
2.2.1. Material de campo.....	57
2.2.2. Material de gabinete .....	58
2.3. METODOLOGÍA .....	58
2.3.1. Descriptivo.....	58
2.3.2. Cualitativa.....	59
2.3.3. Cuantitativa.....	59
2.3.3. Analítico .....	60
2.4.- TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN.....	60
2.4.1.- Observación.....	61
2.4.2. Entrevista .....	61
2.4.3. Recopilación de bibliografía .....	63
2.5. ESTRUCTURA METODOLÓGICA .....	63
2.4.1.1. Fase Gabinete.....	63
2.4.1.2.- Fase Campo .....	67
2.4.1.3. Fase Post Campo .....	70

## **CAPÍTULO III**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

3.1. DIAGNÓSTICO DE LAS LAVANDERÍAS VEHICULARES DE LA CIUDAD DE CERCADO.....	71
3.1.1.- Descripción del Sector “Servicios de Lavado Vehicular” en la Provincia de Cercado. ....	71
3.1.2. Diagnóstico de la Lavandería Multiservi .....	76
3.1.2.1. Análisis administrativo .....	76
3.1.2.1.1. Misión y visión de la Lavandería Multiservi .....	76
3.1.2.1.2. Objetivos de la empresa.....	77
3.1.2.1.3- Descripción de la estructura organizacional .....	77

3.1.2.2. Análisis técnico .....	79
3.1.2.2.1. Tecnología.....	79
3.1.2.2.2. Insumos.....	82
3.1.2.2.3. Mano de obra - funciones .....	84
3.1.2.2.4. Espacio.....	85
3.1.2.2.5. Situación financiera.....	89
3.1.2.3. Análisis operacionales .....	91
3.1.2.3.1. Flujo de movimiento de vehículos .....	91
3.1.2.3.2. Flujo de operaciones.....	91
3.1.2.3.3. Medición de caudal de las aguas residuales de la Lavandería Multiservi...93	
3.1.2.3.4 Capacidad del sistema actual .....	97
3.1.2.3.5. Descripción del sistema actual de tratamiento de aguas residuales .....	98
3.1.2.3.5.1.Tratamiento preliminar .....	98
3.2 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DBO <sub>5</sub> , DQO, SÓLIDOS DISUELTOS, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, SÓLIDOS SEDIMENTABLES, ACEITES Y GRASAS (d), pH, TEMPERATURA, COLIFORMES FECALES Y ESCHERICHIA COLIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAVANDERÍA VEHICULAR MULTISERVI APLICANDO LA NB 64002.....	105
3.2.1. Resultados e interpretación de datos .....	106
3.2.1.1. Resultados físico - químicos .....	108
3.2.1.1.1.- Resultado del parámetro Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	109
3.2.1.1.2. Resultado del parámetro Demanda química de oxígeno (DQO) .....	111
3.2.1.1.3. Resultado del parámetro Sólidos Disueltos .....	113
3.2.1.1.4. Resultado del parámetro Sólidos Suspendedos .....	115
3.2.1.1.4. Resultado del parámetro Sólidos Sedimentables .....	117
3.2.1.1.5. Resultado del parámetro Sustancias Solubles en Éter.....	119
3.2.1.1.5. Resultado del parámetro Potencial de Hidrogeno (pH).....	121
3.2.1.1.6. Resultado del parámetro Temperatura (T°).....	123
3.2.1.2. Resultados Microbiológicos .....	125
3.2.1.2.1. Resultado del parámetro Coliformes Fecales .....	125
3.2.1.2.2. Resultado del parámetro Escherichia Colis .....	127
3.3. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA LAVANDERÍA MULTISERVI.....	129
3.3.1. Introducción .....	129

3.3.2.- Objetivo de la propuesta.....	129
3.3.3. Justificación. ....	130
3.3.4. Desarrollo de la propuesta .....	130
3.3.5. Fase de diseño .....	132
3.3.5.1.1 Sistema de aplicación de tratamiento.....	132
3.3.5.1.2. Diseño de sistema de reutilización de agua residual industrial .....	133
3.3.5.1.3. Cálculos operativos del sistema propuesto .....	135
3.3.5.1.4. Diseño de tanque .....	139
3.3.5.1.5. Diseño del clorador .....	140
3.3.5.1.6. . Determinación de cantidad de agua trata a mezclar con agua potable de COSAALT Ltda .....	144
3.3.5.1.7. Cálculos de laboratorio (Coagulación, Floculación y cloración) .....	145
3.3.6. Fase de instalación .....	147
3.3.6.1. Tipo de tanque floculador .....	147
3.3.6.1.1. Tanque floculador vertical .....	147
3.3.6.1.2.Estructura de soporte .....	149
3.3.6.2. Inyección de coagulantey floculante .....	150
3.3.6.2.1. Bomba de Alimentación Periférica .....	151
3.3.6.3.Equipo dosificador Magnetica gamma/X .....	152
3.3.6.4. Tablero de Control .....	153
3.3.6.5.Tubería.....	154
3.3.6.6.Accesorios .....	155
3.3.6.7. Contenedores de lodos.....	159
3.3.6.8. Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio .....	163
3.3.6.8. Costos del sistema propuesto .....	164
3.3.6. Fase de mantenimiento .....	165
3.4. GESTIÓN DE LODOS. ....	168
3.4.1. Introducción.....	168
3.4.2.- Objetivo de la propuesta.....	169
3.4.3. Justificación. ....	169
3.4.4. Generación de lodos .....	169
3.3.4.5.Aspectos técnicos .....	174
3.4.6. Aplicación de compostaje.....	175

**CAPÍTULO IV**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. CONCLUSIONES ..... 180

4.2. RECOMENDACIONES ..... 182

BIBLIOGRAFÍA ..... 184

ANEXOS.....186

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
TABLA N°1 Recopilación de medidas específicas de ahorro de agua en el extranjero.....	10
TABLA N°2 Características del pretratamiento .....	24
TABLA N°3 Características del tratamiento primario .....	32
TABLA N°4 Características del tratamiento secundario .....	34
TABLA N°5 Registro de Lavanderías Gestión 2021 .....	71
TABLA N°6 Descripción del horarios de atención .....	79
TABLA N°7 Descripción de la tecnología utilizada en la Lavandería Multiservi ....	80
TABLA N°8 Descripción de insumos.....	83
TABLA N°9 Gastos de energía eléctrica .....	83
TABLA N°10 Distribución de personal en la empresa según su función.....	84
TABLA N°11 Descripción de vehículo y tarifa .....	89
TABLA N°12 Descripción de servicio y tarifa .....	90
TABLA N°13 Descripción de egresos .....	90
TABLA N°14 Movimiento de asistencia de automóviles.....	91
TABLA N°15 Primera semana de medición de caudal .....	94
TABLA N°16 Segunda semana de medición de caudal .....	95
TABLA N°17 Tercera semana de medición de caudales .....	96
TABLA N°18 Caudal promedio final .....	97
TABLA N°19 Coeficiente de pérdida en rejillas .....	100
TABLA N°20 Cronograma de muestras .....	106

TABLA N°21 Resultado de análisis, punto N°1, Muestras 1,2, y 3 .....	107
TABLA N°22 Resultado de análisis, punto N°2, Muestreo 4 .....	108
TABLA N°23 Resultados de análisis del parámetro Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	109
TABLA N°24 Resultado del análisis del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	111
TABLA N°25: Resultado del análisis del Sólidos Disueltos y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	113
TABLA N°26 Resultado del análisis del Sólidos Suspendedos y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	115
TABLA N°27 Resultado del análisis del Sólidos Sedimentables y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	117
TABLA N°28 Resultado del análisis del Aceites y Grasas (d) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	119
TABLA N°29 Resultado del análisis del Potencial de Hidrógeno (pH) .....	121
TABLA N°30 Resultado del análisis de la Temperatura (N°) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	123
TABLA N°31 Resultado del análisis de la coliformes fecales y comparación con la NB 512.....	125
TABLA N°32 Resultado del análisis de la Escherichia Coli NB 512 .....	127
TABLA N°33 Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento .....	146
TABLA N°34 Costos del sistema propuesto.....	162
TABLA N°35 Periodicidad de las revisiones .....	164

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
FIGURA N°1 Lavanderías de la Ciudad Tarija .....	13
FIGURA N°2 Sistema de tratamiento de agua residual industrial.....	21
FIGURA N°3 Sulfato doble de aluminio y potasio .....	32
FIGURA N°4 Tipos de lavanderías vehiculares .....	37
FIGURA N°5 Ubicación geográfica del área de estudio a en el país.....	48
FIGURA N°6 Ubicación geográfica del área de estudio en el Departamento.....	49
FIGURA N°7 Ubicación geográfica del área de estudio en la Provincia. ....	50
FIGURA N°8 Ubicación del área de estudio dentro de la Mancha Urbana del Municipio de Cercado .....	51
FIGURA N°9 Ubicación geográfica del área de estudio en el País, Departamento, Provincia y área específica de estudio. ....	52
FIGURA N°10 Clima con datos de temperatura .....	53
FIGURA N°11 Distribución mensual de la precipitación .....	54
FIGURA N°12 Toma de muestra.....	68
FIGURA N°13 Descripción jerarquía de la estructura organizacional .....	78
FIGURA N°14 Área y espacio de la Lavandería Multiservi superficie.....	80
FIGURA N°15 Área subterránea de la Lavandería Multiservi .....	87
FIGURA N°16 Especificaciones generales del Área subterránea .....	88
FIGURA N°17 Diagrama de flujo del proceso de lavado .....	92
FIGURA N°18 Dimensionamiento de la rejilla .....	99
FIGURA N°19 Diferentes formas de rejillas .....	101
FIGURA N°20 Colector .....	101
FIGURA N°21 Desarenador de la Lavandería Multiservi .....	102

FIGURA N°22 Trampa de grasas de la Lavandería Multiservi.....	103
FIGURA N°23 Filtro de la Lavandería Multiservi .....	104
FIGURA N°24 Diagrama de la propuesta del sistema de tratamiento.....	131
FIGURA N°25 Diseño de reutilización de agua reidual .....	131
FIGURA N°26 Tanque de 450 ℓ marca Rotoplas .....	148
FIGURA N°27 Descripción de estructura de soporte .....	150
FIGURA N°28 Bomba Serie KF tipo 0.....	151
FIGURA N°29 Sistema de dosificación.....	153
FIGURA N°30 Tablero de control Multi-joker .....	154
FIGURA N°31 Tubería PVC de 1 plg .....	155
FIGURA N°32 Codo estándar para 1plg.....	155
FIGURA N°33: Abrazadera para tubo PVC.....	156
FIGURA N°34 Válvula de retención .....	157
FIGURA N°35 Válvula de pie .....	157
FIGURA N°36 Válvula solenoide.....	158
FIGURA N°37 Llave de paso para tubo de 1 plg .....	158
FIGURA N°38 Tacho de almacenamiento de Lodos .....	160
FIGURA N°39 Tacho de almacenamiento de Lodos .....	161
FIGURA N°40 Balde de 20 ℓ Paraplastic .....	162
FIGURA N°41 Boya Cilindrica.....	163
FIGURA N°42 Manguera y regulador de goteo DHP .....	163
FIGURA N°43 Lecho filtrantes .....	179



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	<b>Páginas</b>
GRÁFICA N°1 : Resultados del análisis del Parámetro Demanda Biológica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	109
GRÁFICA N°2 Resultado del análisis del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	111
GRÁFICA N°3 Resultado del análisis del Sólidos Disueltos y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	113
GRÁFICA N°4 Resultado del análisis del Sólidos Suspendidos y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	115
GRÁFICA N°5 Resultado del análisis del Sólidos Sedimentables y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	117
GRÁFICA N°6 : Resultado del análisis del Aceites y Grasas (d) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	119
GRÁFICA N°7 Resultado del análisis del Potencial de Hidrógeno (pH) y comparación con RASIM ANEXO 13-C .....	121
GRÁFICA N°8 Resultado del análisis de la Temperatura (T°) y comparación con RASIM ANEXO 13-C.....	123
GRÁFICA N°9 Resultado del análisis de Coliformes Fecales, comparación con la NB 512.....	125
GRÁFICA N°10 Resultado del análisis de la Escherichia Coli y comparación con la NB 512 .....	127

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Páginas</b>
ANEXO N°1 PREGUNTAS DE LA ENTREVISTA .....	186
ANEXO N°2 LISTA DE CHEQUEO .....	187
ANEXO N°3 TOMA DE MUESTRA .....	190
ANEXO N°4 MUESTRAS LLEVADAS AL LABORATORIO DE CEANID .....	191
ANEXO N°5 MUESTRAS LLEVADAS AL LABORATORIO DE COSAAL Ltda.....	192
ANEXO N°6 RESULTADOS DEL LABORATORIO DE CEANID .....	193
ANEXO N°7 RESULTADOS DEL LABORATORIO DE COSAALT Ltda .....	199
ANEXO N°8 COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN .....	203
ANEXO N°9 VISTAS A LA LAVANDERÍA MULTISERVI .....	207
ANEXO N°10 ENTREVISTA Y RECOLECCIÓN DE MEDIDAS DEL ÁREA .	213
ANEXO N°11 DETERMINACIÓN DE CAUDAL .....	214
ANEXO N°12 CRONOGRAMA DE BOMBEO – TABLERO DE CONTROL ...	215
A N°13 IDENTIFICACION DE MUESTRAS .....	217
ANEXO N°14 FORMULARIO DE MUESTREO.....	218
ANEXO N°15 DISPOSICIÓN DE LODOS .....	219
ANEXO N°16 COMPOSTA .....	221



## **SIGLAS Y ABREVIATURAS**

AAC: Autoridad Ambiental Componente.

AAPS: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Art: Artículo.

bar: Bares.

Bs: Bolivianos.

°C: Grados.

CCA: Control de Calidad Ambiental.

CEANID: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo.

COSAALT Ltda: Cooperativa de Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario Tarija Limitada.

cm: Centímetros.

DBO<sub>5</sub>: Demanda Biológica se Oxígeno.

D.S: Decreto Supremo

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EPSA: Entidades Prestadoras de Servicios de Agua y Alcantarillado Sanitario.

gr: Gramos.

h: hora.

hp: Caballo de potencia.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

Kg: Kilogramos.

Km<sup>2</sup>: Kilómetro cuadrado.

Kw: kilovatio.

LMP: Límites máximos permisibles.

ℓ: Litros.

Max: Máximo.

m: Metros.

m<sup>2</sup>: Metro cuadrado.

m<sup>3</sup>: Metro cúbico.

min: Minutos.

ml: Mililitros.

mg: Miligramos.

NB: Norma Boliviana.

NMP: Número más probables.

pH: Potencial de Hidrogeno.

plg: Pulgadas.

Psig: Libras por pulgada cuadrada.

PTAR: Planta de Tratamiento de Agua Residual.

PTDIT: Plan Territorial de Desarrollo Integral del Departamento de Tarija.

RASIM: Reglamento Ambiental Del Sector Industrial Manufacturero.

RAR AAPS: Resolución Administrativa Regulatoria: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico.

rpm: Revoluciones por minuto.

Q: Caudal.

SEMAPA: Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario

t: tiempo.

V: Volumen.

W: Vatio.

u.: Cantidad.

%: Porcentaje.

\$us: Dólar