

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TRATAMIENTO DE AGUAS JABONOSAS INDUSTRIALES EN LA  
PLANTA ENGARRAFADORA DE GLP “EL PORTILLO”**

**Por:**

**ABDDI LIZETH COPA RAMOS**

**Modalidad de graduación (Investigación aplicada) presentado a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**TARIJA – BOLIVIA**

**2023**

**V°B°**

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

**DECANO a.i.**

Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

**VICEDECANO a.i.**

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Ignacio Velásquez Soza

---

Ing. María Estela Sullca

---

Ing. Jimena Durán Durán

## **ADVERTENCIA**

“El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor”.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Porque me sacaron adelante dándome ejemplos de superación y entrega. Y depositaron su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres y familia por el apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

A mis Docentes, Tutor y Tribunales por brindarme conocimiento y guiarme en la elaboración de este proyecto.

## **PENSAMIENTO**

“El verdadero propósito de cualquier objetivo es enriquecerte como persona a raíz del esfuerzo realizado para satisfacerlo **la verdadera recompensa es moral**”

(Anthony Robbins)

## INDICE

### PRELIMINARES

Hoja de aprobación	
Advertencia	
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Pensamiento	
Resumen	

### CAPITULO I

#### INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES .....	1
Historia de las aguas residuales .....	2
Contexto mundial aguas residuales generadas .....	4
Contexto mundial aguas residuales industriales .....	6
Contexto Latinoamérica aguas residuales generadas .....	7
Contexto nacional aguas residuales generadas .....	8
Contexto Local aguas residuales generadas .....	9
Historia del tratamiento de aguas residuales .....	10
Contexto mundial tratamiento de aguas residuales .....	12
Contexto Latinoamérica tratamiento de aguas residuales .....	13
Contexto nacional de tratamiento de aguas residuales .....	15
Contexto local de tratamiento de aguas residuales .....	17
Planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo” Tarija .....	19
Actividades características de la Planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo” .....	20
Proceso de descarga de garrafas vacías (Procedimiento manual) .....	21
Procedimiento de llenado de garrafas .....	21

Control de peso de garrafas .....	22
Prueba de hermeticidad .....	23
Proceso de taponamiento y precintado .....	24
Proceso de carga de las garrafas llenas al camión distribuidor .....	24
Jabón Potásico utilizado como lubricante en transportadora de cadenas para Planta de engarrafado “El Portillo” .....	25
Diagrama de procesos de la planta de engarrafado de GLP YPFB “El Portillo” Tarija .....	26
Aguas residuales de la planta .....	27
1.5 OBJETIVOS.....	29
1.5.1. Objetivo General .....	29
1.5.2. Objetivos Específicos .....	29

## **CAPITULO II**

2. MARCO TEÓRICO .....	30
2.1. Aguas residuales .....	30
2.1.2. Aguas residuales industriales .....	30
2.1.3. Aguas residuales grises.....	30
2.2. Contaminantes típicos de aguas residuales industriales .....	31
2.2.1. Materia Orgánica .....	31
2.2.2. Materia Inorgánica.....	32
2.3. Características principales de aguas residuales industriales.....	32
2.3.1. Características físicas .....	32
Temperatura.....	32
Color .....	32
Olor.....	33
Solidos Totales S <sub>T</sub> .....	34



Solidos Suspendidos SST.....	34
Solidos filtrables SF.....	34
Solidos Sedimentables SD.....	34
Conductividad eléctrica EC.....	34
Turbidez TUR.....	35
Densidad p.....	36
Distribución de tamaño de partícula TPD.....	36
Transmitancia %T.....	36
2.3.2. Características químicas.....	36
Potencial de Hidrogeno pH.....	36
Nitrógeno N <sub>T</sub> .....	37
Fosforo P.....	37
Cloruros CL <sup>-</sup> .....	37
Azufre S.....	37
Gases.....	38
Oxígeno disuelto O <sub>2</sub> .....	38
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S).....	38
Metano (CH <sub>4</sub> ).....	39
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	39
Demanda química de Oxígeno (DQO).....	39
Grasas y aceites.....	40
Alcalinidad.....	40
Metales.....	40
2.3.3. Características biológicas.....	41
Bacterias.....	41

Protozoos .....	41
Helmintos .....	41
Virus .....	42
Algas.....	42
Toxicidad.....	42
2.3.4. Métodos y tratamientos para aguas residuales industriales .....	43
Tren de tratamiento de aguas.....	43
2.3.5. Pre tratamiento.....	45
Desbaste.....	45
Tamices.....	46
Desarenado .....	47
Desengrasado.....	47
2.3.6. Tratamientos primarios.....	48
Tipos de procesos .....	49
Etapas del tratamiento Físico – Químico.....	49
Coagulación.....	50
Neutralización de la carga del coloide.....	50
Inmersión en un precipitado o floculo de barrido .....	51
pH.....	51
Agitación rápida de la mezcla .....	51
Tipo y cantidad de coagulante.....	52
Floculación .....	52
Coagulación previa lo más perfecta posible.....	53
Agitación lenta y homogénea .....	53
Temperatura de agua .....	53

Características del agua .....	54
Tipos de floculantes según su naturaleza .....	54
Coadyuvantes .....	54
2.3.7. Tratamiento secundario .....	56
Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (RAFA) .....	57
Filtro anaerobio .....	57
Lagunas de estabilización.....	58
Lagunas facultativas .....	59
Lagunas aerobias .....	59
Lagunas de maduración.....	59
Humedales .....	59
Humedales artificiales .....	60
Typha spp (Totora).....	62
Oxígeno para procesos aeróbicos .....	63
Película microbiana .....	64
Opciones de tratamiento y reúso de lodos y agua tratada .....	65
Digestión anaerobia.....	65
Tratamiento con cal .....	66
Compostaje, particularmente co-compostaje con residuos orgánicos.....	66
Patio a secar .....	66
Reúso de subproductos .....	66
Reúso de agua tratada.....	67
Reúso de lodos.....	67
Filtros biológicos .....	67
2.3.8. Tratamientos terciarios .....	68

Filtros.....	68
Desinfección.....	70
Tratamiento con cloro.....	70
Tratamiento con luz ultravioleta.....	70
Tratamiento con ozono.....	71
Descargar.....	71
2.3.9. Reutilizar.....	71
2.3.10. Leyes, normativas y marco legal.....	72
Modelos cinéticos de degradación de materia orgánica.....	72
Modelo de Fair.....	72
Modelo de Marais-Shaw.....	73
Modelo de flujo de Pistón.....	73
Modelo de Thirumurthi.....	74

### **CAPITULO III**

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	75
Aguas residuales industriales de la planta de engarrafado.....	76
3.1 MATERIALES.....	78
3.2 METODOLOGIA.....	79
3.3 MUESTREO.....	80
3.3.1. Muestreo simple.....	80
3.3.2. Muestreo compuesto.....	81
3.4 TAMAÑO DE MUESTRA.....	81
3.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	82
3.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	83
3.6.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales experimental.....	85

3.7 DISEÑO DE INSTRUMENTOS .....	86
3.7.1. Pre tratamiento.....	86
Dimensionamiento del canal de entrada y malla .....	86
3.7.2. Tratamiento primario.....	88
Tanque de almacenamiento, coagulación y sedimentación.....	88
Tanque de oxigenación y de reposo .....	89
Tanque de burbujeo .....	91
Cálculo del Número de Bond Bo: .....	92
Cálculo del Número de Galileo: .....	92
Cálculo del Número de Schmidt: .....	92
Cálculo de la Fracción de gas retenido en la mezcla Eg: .....	93
Cálculo del Volumen en el Tanque de Oxigenación .....	94
3.7.3. Biofiltro .....	96
Dimensionamiento y especificaciones del biofiltro .....	96
Material granular .....	96
Grava .....	96
3.7.4. Generalidad de diseño .....	97
Estructura de entrada y salida.....	97
Microorganismos .....	99
3.8 FASE EXPERIMENTAL.....	100
3.8.1. Acondicionamiento y mantenimiento al sistema de tratamiento.....	100
3.8.2. Mantenimiento y repintado del biofiltro.....	101
3.8.3. Adición de malla milimétrica en el tanque 1 .....	101
3.8.4. Malla milimétrica en el biofiltro.....	102
3.8.5. Preparación del lecho filtrante.....	103

3.8.6. Seguridad industrial y salud ocupacional .....	103
3.8.7. Ejecución de la fase experimental .....	104
Toma de muestra y monitoreo .....	104
Muestras para alimentar al sistema de tratamiento de aguas residuales.....	105
3.9 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	109
Balance de materia .....	110
Balance de solidos totales.....	110
Diagrama de solidos totales.....	111
Balance de oxigeno.....	111
Diagrama de proceso de la oxigenación .....	111
Balance en el tanque de oxigenación.....	112
Balance en el biofiltro .....	113
Balance de agua residual tratada .....	113
Diagrama de Agua residual .....	114

## **CAPITULO IV**

4. RESULTADO .....	115
4.1 Ficha de ubicación de la Planta .....	115
4.2 Tabulación de resultados de datos .....	115
4.5 Análisis de los resultados .....	116
- DBO <sub>5</sub> .....	117
- DQO .....	119
- Grasas y aceites .....	121
- Nitrógeno Total .....	122
- Solidos Totales .....	124
Eficiencia del proceso de Biofiltración .....	126

4.4 Calculo de la eficiencia del biofiltro .....	127
--	-----

## **CAPITULO V**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	128
---	-----

5.1 CONCLUSIONES.....	128
-----------------------	-----

5.2 RECOMENDACIONES .....	130
---------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	132
------------------------------	-----

ANEXOS .....	135
--------------	-----

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla I-1.</b> Aguas residuales generadas en Bolivia .....	9
<b>Tabla I-2.</b> Aguas residuales generadas en Tarija.....	10
<b>Tabla I-3.</b> Tratamiento de aguas residuales.....	13
<b>Tabla I-4.</b> Aguas residuales tratadas.....	14
<b>Tabla I-5.</b> Aguas tratadas para riego .....	15
<b>Tabla I-6.</b> Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	15
<b>Tabla I-7.</b> Aguas residuales tratadas.....	17
<b>Tabla I-8.</b> Aguas residuales tratadas.....	18
<b>Tabla I-9.</b> Aguas residuales utilizadas.....	19
<b>Tabla I-10.</b> Tanques de almacenamiento de GLP .....	20
<b>Tabla I-11.</b> Composición de Jabón Potásico .....	25
<b>Tabla II-1.</b> Parámetros de aguas grises .....	31
<b>Tabla II-2.</b> Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta .....	33
<b>Tabla II-3.</b> Clasificación de aguas residuales según la DBO <sub>5</sub> .....	39
<b>Tabla II-4.</b> Valores típicos de la relación DBO <sub>5</sub> /DQO .....	39
<b>Tabla II-5.</b> -Eficiencia de un Humedal o Biofiltro.....	62
<b>Tabla III-1.</b> -Coordenadas Geográficas.....	76
<b>Tabla III-2.</b> -Características de las aguas residuales .....	77
<b>Tabla III-3.</b> Materiales .....	78
<b>Tabla III-4.</b> Metodología.....	80
<b>Tabla III-5.</b> -Dimensiones de malla retenedora de solidos .....	87
<b>Tabla III-6.</b> -Dimensiones del tanque de coagulación y sedimentación .....	88
<b>Tabla III-7.</b> -Dimensiones del tanque de oxigenación.....	90
<b>Tabla III-8.</b> -Variables para el diseño del tanque de oxigenación .....	95



<b>Tabla III-9.-</b> Características de la grava.....	97
<b>Tabla III-10.-</b> Diseño del biofiltro .....	98
<b>Tabla III-11.-</b> Características del biofiltro .....	99
<b>Tabla III-12.-</b> Datos .....	110
<b>Tabla III-13.-</b> Datos .....	111
<b>Tabla III-14.-</b> Datos .....	113
<b>Tabla IV-1.</b> Datos generales de la empresa.....	115
<b>Tabla IV-2.-</b> Resultados de análisis Físico-químicos.....	115
<b>Tabla IV-3.-</b> Resultados Físicos ensayos experimentales .....	116
<b>Tabla IV-4.</b> Datos del modelo .....	117
<b>Tabla IV-5.</b> Comportamiento de DBO <sub>5</sub> .....	117
<b>Tabla IV-6.</b> Comportamiento de DQO.....	119
<b>Tabla IV-7.</b> Comportamiento de Grasas y Aceites.....	121
<b>Tabla IV-8.</b> Comportamiento de Nitrógeno Total.....	122
<b>Tabla VI-9.</b> Comportamiento de Solidos totales.....	124
<b>Tabla V-1.</b> Lista de valores.....	132

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura I-1.</b> Filtración de aguas negras a tuberías de agua potable .....	3
<b>Figura I-2.</b> Flujo total de aguas residuales generadas .....	5
<b>Figura I-3.</b> Flujo total de aguas residuales generadas .....	5
<b>Figura I-4.</b> Flujos totales de aguas residuales tratadas.....	6
<b>Figura I-5.</b> Flujos totales de aguas residuales generados notificados .....	7
<b>Figura I-6.</b> Distribución de la cobertura de saneamiento .....	8
<b>Figura I-7.</b> Volumen de aguas residuales.....	9

<b>Figura I-8.</b> Sistema de potabilización de aguas.....	10
<b>Figura I-9.</b> Flujos de aguas residuales industriales .....	13
<b>Figura I-10.</b> Funcionamiento inadecuado de las PTAR .....	16
<b>Figura I-11.</b> Riego con aguas tratadas.....	17
<b>Figura I-12.</b> Plano de encadenado de transporte de garrafas .....	26
<b>Figura II-1.</b> Tren de tratamiento de aguas residuales.....	44
<b>Figura II-2.</b> Tratamiento de aguas residuales.....	44
<b>Figura II-3.</b> Rejas de desbaste.....	46
<b>Figura II-4.</b> Tamiz estático.....	46
<b>Figura II-5.</b> Desarenador y Desengrasador .....	48
<b>Figura II-6.</b> Tratamiento primario.....	49
<b>Figura II-7.</b> Tratamiento primario.....	50
<b>Figura II-8.</b> Tanques Imhoff .....	56
<b>Figura II-9.</b> Tratamiento secundario .....	57
<b>Figura II-10.</b> Filtro anaeróbico de flujo ascendente.....	58
<b>Figura II-11.</b> Lagunas de estabilización.....	58
<b>Figura II-12.</b> - Clasificación de humedales.....	61
<b>Figura II-13.</b> – Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales .....	64
<b>Figura II-14.</b> - Sistema típico del proceso de lodos activados .....	65
<b>Figura II-15.</b> - Filtros de tambor .....	69
<b>Figura III-1.</b> - Ubicación Geográfica de la planta de engarrafado de GLP .....	76
<b>Figura III-2.</b> – Vista en Planta de Arriba .....	85
<b>Figura III-3.</b> – Vista de Planta de Perfil.....	85
<b>Figura III-4.</b> – Vista de Planta de Frente .....	86
<b>Figura IV-1.</b> – Comportamiento de DBO <sub>5</sub> .....	118

<b>Figura IV-2.</b> – Comportamiento de DQO .....	120
<b>Figura IV-3.</b> – Comportamiento de GyA .....	122
<b>Figura IV-4.</b> – Comportamiento de $N_T$ .....	124
<b>Figura IV-5.</b> – Comportamiento de ST .....	126

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografía I-1.</b> Tanques de almacenamiento de GLP .....	20
<b>Fotografía I-2.</b> Descarga de garrafas vacías.....	21
<b>Fotografía I-3.</b> Llenado de garrafas de GLP .....	22
<b>Fotografía I-4.</b> Control de peso, balanza de relleno.....	23
<b>Fotografía I-5.</b> Prueba de hermeticidad .....	23
<b>Fotografía I-6.</b> Taponamiento y precintado .....	24
<b>Fotografía I-7.</b> Carguío e las garrafas llenas al Camión Distribuidor.....	24
<b>Fotografía I-8.</b> Ubicación de Pozos sépticos fuera de Planta El Portillo .....	27
<b>Fotografía I-9.</b> Pozos sépticos, fuera de instalaciones destruidos.....	28
<b>Fotografía I-10.</b> Vertido de aguas residuales a quebrada.....	28
<b>Fotografía III-1.</b> – Piscina API.....	82
<b>Fotografía III-2.</b> – Malla insatalada.....	95
<b>Fotografía III-3.</b> – Tanque de almacenamiento .....	97
<b>Fotografía III-4.</b> – Tanque de oxigenación.....	103
<b>Fotografía III-5.</b> – Biofiltro .....	105
<b>Fotografía III-6.</b> – Instalacion de malla milimetrica .....	102
<b>Fotografía III-7.</b> – Recolección y plantación de totora.....	103
<b>Fotografía III-8.</b> – EPP para muestreo.....	104

<b>Fotografía III-9.</b> – Toma de muestra .....	105
<b>Fotografía III-10.</b> – Transporte de muestras al sistema.....	106
<b>Fotografía III-11.</b> – Descarga de muestra al tanque 01 .....	106
<b>Fotografía III-12.</b> – Coagulación.....	107
<b>Fotografía III-13.</b> – Pelicula microbiana .....	108
<b>Fotografía III-14.</b> – Control de Parametros pH y Temperatura.....	108

### **INDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro III-1.-</b> Diagrama de procesos .....	92
<b>Cuadro III-2.-</b> Análisis solicitados en Lab externo.....	117
<b>Cuadro III-3.-</b> Análisis de ensayos experimentales en Lab interno.....	117