

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA  
BODEGA DEL CENTRO NACIONAL VITIVINICOLA  
TARIJA - CENAVIT, EN UN BIOFILTRO A ESCALA DE  
LABORATORIO**

**Por:**

**Univ. Maribel Cari Figueroa**

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

**15 de octubre de 2012**

**TARIJA – BOLIVIA**

**VºBº**

\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Tejerina Oller  
**PROFESOR GUÍA**

\_\_\_\_\_  
Ing. Alberto Yurquina  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**DE**

\_\_\_\_\_  
Lic. Gustavo Succi  
**VICEDECANO FACULTAD  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

\_\_\_\_\_  
Ing. Ignacio Velasquez

\_\_\_\_\_  
Ing. Gustavo Moreno López

\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Erazo

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

Dedicatoria:

A Dios por haberme permitido concluir esta etapa, para iniciar una vida profesional.

A mi madre, que me dio todo su apoyo durante todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos que me ayudaron y me alentaron seguir en los momentos más difíciles.

Agradecimiento:

A mi familia por su apoyo me fue posible cumplir este objetivo.

Al Ing. Jorge Tejerina por su colaboración, y el apoyo brindado en la elaboración de este proyecto.

“Nada es más suave y al mismo tiempo tan fuerte como el agua, que fluye firme y lentamente, con la sabiduría de tener el mismo destino del hombre: seguir adelante”.

Anónimo

## ÍNDICE

**Agradecimientos**

**Dedicatorias**

**Pensamiento**

**Resumen**

## INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivos .....	6
1.2.1 Objetivo general .....	6
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Justificación .....	7

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

	Página
1 Aspectos Legales y Normativas Ambientales.....	11
1.1 Constitución Política del Estado .....	11
1.1.1 Ley de Medio Ambiente.....	12

1.1.2	Reglamento de Contaminación Hídrica .....	13
1.1.3	Gestión Ambiental .....	15
1.2	Centro Nacional Vitivinícola Tarija-CENAVIT .....	15
1.2.1	Ubicación Geográfica del CENAVIT .....	15
1.2.2	Descripción de la Unidad Productiva CENAVIT .....	16
1.2.3	El Proceso de Vino en Bodega.....	17
1.2.4	Microbiología del Vino .....	19
1.2.5	Reacciones en Procesos Biológicos .....	24
1.2.5.1	Reacciones en Procesos Anaerobios .....	24
1.2.5.2	Reacciones en Procesos Biológicos Aerobio .....	26
1.2.6	Procesos Enotécnicos y Generación de Residuos en Bodegas de elaboración y Embotellado.....	29
1.3	Aguas Residuales .....	33
1.3.1	Agua Residual Domiciliaria en la Bodega ARD .....	34
1.3.2	Agua Residual Industrial ARI.....	34
1.3.3	Agua Residual de Bodega ARB.....	35
1.4	Tipos de Contaminación de Agua Residual de Bodega.....	38
1.4.1	Contaminación Física .....	38
1.4.1.1	Medida de la Temperatura. ....	38
1.4.1.2	Color.....	39



1.4.1.3 Olor .....	39
1.4.1.4 Materia Sólida .....	40
1.4.1.5 Conductividad Eléctrica .....	42
1.4.2 Contaminación Química.....	43
1.4.2.1 Nitrógeno Total .....	43
1.4.2.2 Fósforo Total .....	44
1.4.2.3 pH.....	44
1.4.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> .....	45
1.4.2.5 Demanda Química de Oxígeno DQO .....	47
1.4.2.6 Oxígeno Disuelto OD.....	49
1.4.3 Componentes Biológicos en las Aguas Residuales .....	50
1.4.3.1 Coliformes Totales CT y Coliformes Fecales CF.....	51
1.5 Clasificación de los Contaminantes .....	53
1.5.1 Contaminantes Orgánicos de las Bodegas .....	53
1.5.2 Contaminantes Inorgánicos.....	55
1.6 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	57
1.6.1 Tecnologías Apropriadas para el Tratamiento de Aguas Residuales. ....	58
1.7 Algunas Opciones Tecnológicas .....	59
1.7.1 Tipos de Tratamiento .....	59
1.7.1.1 Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales .....	60

1.7.1.1.1 La Cámara Séptica .....	60
1.7.1.1.2 Lagunas de Estabilización.....	61
1.7.1.1.3 Estanques de Lodos Activos .....	65
1.7.1.1.4 Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente en Manto de Lodo .....	67
1.7.1.1.5 Tratamiento Anaerobio .....	68
1.7.2 Sistemas de Tratamiento Natural y Biológico .....	70
1.7.2.1 Humedales o Sistemas de Plantas Acuáticas .....	70
1.7.2.2 Sistemas para el Tratamiento de las Aguas Residuales con Plantas Acuáticas.....	72
1.8 Tratamiento de Aguas Residuales en un Biofiltro .....	73
1.8.1 Biofiltros: tipos y componentes principales.....	75
1.8.1.1 Descripción de un Biofiltro Horizontal.....	77
1.8.1.2 Descripción del Biofiltro de Flujo Vertical .....	79
1.8.2 Ventajas de un Biofiltro .....	82
1.8.3 Formación de la Película Microbiana. ....	83
1.8.4 Contaminantes de Importancia para el Diseño del Biofiltro.....	84
1.9 Trabajos experimentales previos realizados por otros autores.....	85
1.10 Valoración de la carga contaminante que vierten las industrias .....	87
1.10.1 Característica del efluente.....	90

1.10.2 Medición de cargas orgánicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	93
--	----

## **CAPITULO II**

### **DISEÑO EXPERIMENTAL**

Introducción .....	94
2.1 Modelo de funcionamiento del biofiltro planteado para el ensayo experimental.....	95
2.1.1 Características de las aguas residuales de bodegas .....	95
2.1.2 Modelo planteado para el diseño biofiltro horizontal .....	97
2.1.3 Tanque de oxigenación .....	101
2.2 Diseño del biofiltro .....	109
2.2.1 Dimensionamiento y especificaciones del biofiltro .....	110
2.2.1.1 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño .....	110
2.2.1.2 Generalidades de diseño.....	110
2.3 Diseño del biofiltro experimental.....	115
2.4 Metodología de investigación .....	122
2.4.1 Parte experimental: monitoreo y toma de muestras .....	122
2.5 Balance de materia .....	124
2.6 Diseño factorial .....	126
2.6.1 Elección del diseño experimental.....	127

2.6.1.1 Estudio de los factores .....	127
2.6.2 Pasos para realizar el diseño factorial .....	127
2.6.2.1 Elección de las variables a medir: respuestas .....	128
2.6.2.2 Elección de las variables de operación: factores.....	128
2.6.2.3 Elección de los intervalos de operación para cada una de las variables de operación: niveles .....	128
2.6.3 Construcción de un diseño factorial completo $2^k$ .....	130
2.6.3.1 Dominio experimental o matriz de diseño .....	131

### **CAPITULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1 Comportamiento de la $DBO_5$ .....	137
3.2 Variación de la cantidad de oxígeno disuelto OD.....	139
3.3 Variación del pH en el sistema.....	142
3.4 Variación de los sólidos suspendidos en el sistema.....	146
3.5 Variación del nitrógeno total en el sistema .....	148

### **CAPITULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	152
------------------------	-----

5.2	Recomendaciones.....	156
	Bibliografía .....	160

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I-1. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores .....	14
Tabla I-2. Relación de producción vino/agua residual.....	37
Tabla I-3. Carga contaminante .....	89
Tabla II-1. Resumen de las variables para el diseño del tanque de oxigenación .....	109
Tabla II-2. Características de la grava y el biofiltro.....	114
Tabla II-3. Resumen de los cálculos del biofiltro .....	120
Tabla II-4. Costos del biofiltro experimental .....	121

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro I - 1. Residuos que son generados de acuerdo al proceso de vinificación.....	33
Cuadro I – 2. Parámetros de demanda bioquímica de oxígeno.....	46
Cuadro I – 3. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.....	57
Cuadro I – 4. Eficiencia de un biofiltro.....	82

Cuadro I – 5. Indicadores de importancia para el diseño del biofiltro .....	85
Cuadro I – 6. Contaminación característica de diferentes industrias .....	91

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Fig.1-1 Ubicación geográfica del lugar.....	16
Fig.1-2 Diagrama del proceso de vinificación .....	18
Fig.1-3 Microorganismo del vino .....	19
Fig.1-4 Microfotografía de mohos.....	20
Fig.1-5 Fotografía con el microscopio electrónico de levaduras fermentativas del genero saccharomyces.....	21
Fig.1-6 Levadura del genero Brettanomyces.....	22
Fig.1-7 Microfotografía bacterias lácticas .....	23
Fig.1-8 Microfotografía bacterias acéticas .....	24
Fig.1-9 Flujo de materiales y de actividades en una bodega .....	30
Fig.1-10 Cámara séptica .....	61
Fig. 1-11. Lagunas de estabilización .....	62
Fig. 1-12. Estanques de lodos activos.....	66
Fig. 1-13. Reactores anaerobios de flujo ascendente en manto de lodo.....	68
Fig. 1-14. Reactor anaerobio .....	70

Fig. 1-15. Humedales artificiales.....	71
Fig. 1-16. Sistema por biofiltración con plantas emergentes .....	74
Fig. 1-17. Biofiltro de flujo horizontal .....	78
Fig. 1-18. Biofiltro de Flujo Vertical.....	80
Fig. 1-19. Película Microbiana .....	84
Fig. 2-1. Diagrama de Flujo.....	99
Fig. 2-2. Sistema experimental vista en planta.....	123
Fig. 2-3. Sistema experimental vista de perfil .....	127
Fig. 2-4. Sistema del diseño factorial .....	127
Fig. 3-1. Variación del color de las aguas residuales .....	145

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Página
Foto 2-1. Sistema de tratamiento - biofiltro .....	100
Foto 2-2. Tanque de oxigenación.....	101
Foto 2-3. Tanque de oxigenación - burbujeando .....	108
Foto 2-4. Alimentación del agua residual al biofiltro .....	120
Foto 2-5. Salida del agua residual del biofiltro .....	120
Foto 2-6. Muestreo del agua residual.....	123

## INDICE DE GRAFICAS

	Página
Graf. 3-1 Comportamiento de la DBO <sub>5</sub> en el sistema.....	136
Graf.3-2 Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> en el tanque de oxigenación.....	138
Graf.3- 3 Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> en el biofiltro .....	139
Graf. 3-4 Variación de la cantidad de oxígeno disuelto.....	140
Graf. 3-5 Variación del pH.....	144
Graf. 3-6 Variación de los sólidos suspendidos .....	146
Graf. 3-7 Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos .....	147
Graf. 3-8 Variación de nitrógeno total en el sistema .....	149
Graf. 3-9 Porcentaje de remoción del nitrógeno total en el biofiltro .....	151

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Clasificación de cuerpos de aguas según su uso.....	
<b>Anexo 2:</b> Análisis estadístico de datos.....	
<b>Anexo 3:</b> Midiendo el caudal de aire.....	
<b>Anexo 4:</b> Fotos del sistema experimental.....	
<b>Anexo 5:</b> Tablas de los resultados de los ensayos.....	



# **INTRODUCCIÓN**

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEORICO**

**CAPITULO II**  
**DISEÑO EXPERIMENTAL**

**CAPITULO III**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# **ANEXOS**

# **ANEXO N°1**

# **ANEXO N°2**



# **ANEXO N°3**

# **ANEXO N°4**

# **ANEXO N°6**

## ACRÓNIMOS

OMS = Organización mundial de la salud

MMAA = Ministerio de medio ambiente y agua

ODM= Objetivos de desarrollo mundial

NTU = Unidades nefelométricas de turbidez

DBO<sub>5</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno

DQO = Demanda química de oxígeno

OD = Oxígeno disuelto

CT = Coliformes totales

CF = Coliformes fecales

SS = Sólidos suspendidos

THR = Tiempo de retención hidráulica

BFH = Biofiltro de flujo horizontal

BFV = Biofiltro de flujo vertical

## SIMBOLOGÍA

$V_v$	Volumen de espacios vacíos ( $m^3$ ).
$Q$	Caudal ( $m^3/h$ ).
$t$	Tiempo de retención (h).
$a_1$	Espaciado entre deflectores (m).
$a_t$	Ancho del biofiltro (m).
$l_t$	Largo del biofiltro (m).
$a_2$	Largo de los deflectores (m).
$V$	Velocidad de flujo (m / h).
$g$	Constante gravitacional ( $cm/s^2$ ).
$\rho$	Densidad del agua ( $gr/cm^3$ ).
$D_r$	Diámetro del reactor (cm).
$\tau$	Tensión superficial del agua ( $g/s^2$ ).
$V_c$	Viscosidad cinemática ( $cm^2/s$ ).
$\mu$	Viscosidad dinámica (g /cm s).
$D$	Difusividad del oxígeno en el agua ( $cm^2/s$ ).
$H_{1g}$	Altura de la mezcla gas-líquido (cm).
$H_1$	Altura del líquido cuando no existe aireación (cm).
$C_L$	Concentración de oxígeno disuelto en el medio (mg /l).
$C^*$	Concentración saturada de oxígeno disuelto en el medio (mg /l).
$a$	Superficie específica de intercambio ( $cm^2/cm^3$ ).
$V_g$	Velocidad máxima de aireación (m/s).