

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

**TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES SANITARIAS
DE LA CIUDAD DE TARIJA PARA SU REUSO COMO AGUA
DE RIEGO “EN ORNATO PÚBLICO”.**

Por:

INGRID PATRICIA MOLLO VIDAURRE

**Modalidad de graduación: Proyecto 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**

Abril de 2019

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozalvez
DECANO

Ing. Elizabeth Castro Figueroa
VIDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jorge Tejerina Oller

Ing. Maybeth Orozco

Ing. Paola Amador Cano

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi Madre, quien me dio todo su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos que me ayudaron y siempre estuvieron alentándome a seguir en momentos más difíciles y en especial a mi Hno. Eyber Mollo que gracias a su ejemplo, paciencia, me demostró que todo es posible, gracias, por tanto.

AGRADECIMIENTO

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

A mi madre Martha Vidaurre Duran y Hno. Eyber Mollo Vidaurre por su apoyo incondicional en todo momento me fue posible cumplir este objetivo.

A mi docente guía Ing. Jorge Tejerina Oller por brindarme su valioso conocimiento, tiempo y apoyo brindado durante elaboración de este proyecto.

PENSAMIENTO

“En lugar de ser un hombre exitoso, busca ser un hombre valioso; lo demás llegara naturalmente.”

(Albert Einstein)

SIMBOLOGIA

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 deflectores (m).
V	Velocidad de flujo (m/h).
g	Constante gravitacional (cm/s^2).
ρ	Densidad del agua (gr/cm^3).
D_r	Diámetro del reactor (cm).
τ	Tensión superficial del agua (g/s^2).
V_c	Viscosidad cinemática (cm^2/s).
μ	Viscosidad dinámica ($g/cm\ s$).
D	Difusividad de 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).

ACRONIMOS

OMS = Organización mundial de la salud.

MMAA = Ministerio de medio ambiente y agua.

PTAR = Planta de tratamiento de aguas residuales

COSAALT= Cooperativa de servicios de agua y alcantarillado de Tarija.

ODM = Objetivos de desarrollo mundial.

DBO₅ = Demanda bioquímica de oxígeno.

DQO = Demanda química de oxígeno.

O.D = Oxígeno disuelto.

C.T = Coliformes totales.

THR = Tiempo de retención hidráulica

BFH = Biofiltro de flujo horizontal

BFV = Biofiltro de flujo vertical

ÍNDICE

Agradecimientos

Dedicatorias

Pensamientos

Resumen

INTRODUCCIÓN

	PÁG.
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	8
1.2.1 Objetivo General.....	8
1.2.2 Objetivos Específicos.....	8
1.3 Justificación.....	9

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

	PÁG.
1. Aspectos Legales y Normativos Ambientales.....	12
1.1 Constitución Política del Estado.....	12
1.1.1 Ley de Medio Ambiente.....	13
1.1.2 Reglamento de Contaminación Hídrica.....	15
1.1.3 Gestión Ambiental.....	17
1.2 Características Microbiológicas de las Aguas Residuales.....	17
1.3 Aguas Residuales.....	24

1.3.1 Agua Residual Domiciliaria – ARD.....	25
1.3.2 Agua Residual Industrial– ARI.....	25
1.3.2 Agua Residuales Agrícolas.....	25
1.4 Tipos de Contaminación de Aguas Residuales.....	26
1.4.1.1 Temperatura.....	26
1.4.1.2 Color.....	27
1.4.1.3 Olor.....	27
1.4.1.4 Materia Solida.....	28
1.4.1.5 Conductividad Eléctrica.....	30
1.4.2 Contaminación Química.....	31
1.4.2.1 Nitrogeno Total.....	32
1.4.2.2 Fosforo Total.....	32
1.4.2.3 pH.....	33
1.4.2.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	34
1.4.2.5 Demanda Química de Oxígeno DQO.....	36
1.4.2.6 Oxígeno Disuelto O.D.....	37
1.4.3 Componentes Biológicos en las Aguas Residuales.....	39
1.4.3.1 Coliformes : Totales (C.T) y Fecales (C.F).....	39
1.5 Clasificación de los Contaminantes.....	42
1.5.1 Contaminantes Orgánicos.....	42
1.5.2 Componentes Inorgánicos.....	43
1.6 Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales.....	46
1.6.1 Tecnologías Apropriadas para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	46
1.7 Opciones Tecnológicas.....	48
1.7.1 Tipos de Tratamientos.....	48

1.7.1.1 Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales.....	48
1.7.1.1.1 La Camara Septima.....	48
1.7.1.1.2 Lagunas de Estabilizacion.....	50
1.7.1.1.3 Estanques de Lodos Activos.....	54
1.7.1.1.4 Reactores Anaeróbicos en Manto de Lodo.....	56
1.7.1.1.5 Tratamiento Anaeróbico.....	56
1.7.2 Sistema de Tratamiento Natural y Biológico.....	56
1.7.2.1 Humedales o Sistemas de Plantas Acuáticas.....	59
1.7.2.2 Sistemas para el Tratamiento de las Aguas Residuales con Plantas Acuáticas.....	60
1.8 Tratamientos de Aguas Residuales en un Biofiltro.....	61
1.8.1 Biofiltros: Tipos y Componentes principales.....	64
1.8.1.1 Descripción del Biofiltro de Flujo Horizontal.....	64
1.8.1.2 Descripción del Biofiltro de Flujo Vertical	66
1.8.2 Ventajas de un Biofiltro.....	68
1.8.3 Formación de la Película Microbiana.....	70
1.8.3.1 Parámetros de Importancia para el Diseño del Biofiltro.....	70
1.9 Trabajos Experimentales Realizados por Otros Autores.....	71
1.10 Valoración de la Carga Contaminante que Vierten las Industrias.....	73
1.10.1 Caracterización del Efluente.....	76
1.10.2 Medicion de Cargas Organicas en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	78

CAPITULO II
DISEÑO EXPEROMENTAL

	PAG
Introducción.....	79
2.1 Modelo del Funcionamiento del Biofiltro Planteado para el Ensayo Experimental.....	80
2.1.1 Características de las Aguas Residuales	80
2.1.2 Modelo Planteado para el Diseño del Biofiltro Horizontal.....	81
2.1.3 Tanque de Oxigenación.....	86
2.2 Diseño del Biofiltro.....	93
2.2.1 Dimensionamiento y Especificaciones del Biofiltro.....	94
2.2.1.2 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño.....	94
2.2.1.3 Generalidades de Diseño.....	94
2.3 Diseño del Biofiltro Experimental.....	100
2.4 Metodología de Investigación.....	101
2.4.1 Parte Experimental: Monitoreo y Toma de Muestras.....	101

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

	PAG
3.1 Comportamiento de la DBO_5	117
3.2 Comportamiento de la DQO.....	119
3.3 Comportamiento de Coliformes Totales	121
3.4 Comportamiento de Oxígeno Disuelto.....	124
3.5 Comportamiento de los Solidos Disueltos Totales.....	126
3.6 Comportamiento del pH.....	128

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	PAG
4.1 Conclusiones.....	130
4.2 Recomendaciones.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla I-1. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores....	16
Tabla I- 2. Carga contaminante	75
Tabla II-1. Resumen de variables para el diseño del tanque de oxigenación.....	93
Tabla II- 2. Características del poliestireno particulado y el biofiltro	100
Tabla II- 3. Resumen del dimensionamiento de cálculos del biofiltro	108
Tabla II - 4. Costos del biofiltro experimental	110
Tabla II - 5. Características fisicoquímicas del efluente a la salida del biofiltro durante 3 meses de tratamiento	115
Tabla III-1. Comportamiento de la DBO5 a la salida del biofiltro.....	117
Tabla III-2. Comportamiento de la DQO a la salida del biofiltro	119
Tabla III-3. Comportamiento de C.T. a la salida del biofiltro.....	121
Tabla III-4. Comportamiento del O.D a la salida del biofiltro.....	124
Tabla III-5. Comportamiento de los TDS a la salida del biofiltro.....	126
Tabla III-6. Comportamiento del pH a la salida del biofiltro.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1-1. Bacterias comúnmente presentes en aguas residuales	18
Figura 1-2. Bacterias coliformes	19
Figura 1-3. Características de un virus	20
Figura 1-4. Algunos géneros de algas presente en el A.R.	21
Figura 1-5. Formas de protozoos presentes en A.R	22
Figura 1-6. Ventajas ecológicas de los hongos	23
Figura 1-7. Cámara séptica.....	49
Figura 1-8. Lagunas de estabilización	50
Figura 1-9. Estanques de lodos activos.....	55
Figura 1-10. Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodo	56
Figura 1-11. Rectores anaerobios	58
Figura 1-12. Humedales artificiales.....	59
Figura 1-13. Sistema por biofiltración con plantas emergentes	62
Figura 1-14. Biofiltro de flujo horizontal.....	64
Figura 1-15. Biofiltro de flujo vertical.....	66
Figura 1-16. Película microbiana.....	70
Figura 2-1. Diagrama de flujo	83
Figura 2-2. Sistema experimental vista en planta.....	113
Figura 2-2. Sistema experimental vista en planta.....	113

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁG.
Cuadro I- 1. Parámetros de demanda bioquímica de oxígeno	35
Cuadro I – 2. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales	45
Cuadro I – 3. Eficiencia de un Biofiltro	69
Cuadro I-4. Indicadores de importancia para el diseño del biofiltro	71
Cuadro I -6. Contaminación característica de diferentes industrias	77

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	PÁG.
Gráfica 3-1. Comportamiento de la DBO_5 a la salida del biofiltro.....	118
Gráfica 3-2 Comportamiento de la DQO a la salida del biofiltro	120
Gráfica 3-3. Comportamiento de C.T. a la salida del biofiltro.....	122
Gráfica 3-4. Comportamiento del O.D a la salida del biofiltro	124
Gráfica 3-5. Comportamiento de los TDS a la salida del biofiltro	126
Gráfica 3-6. Comportamiento del pH a la salida del biofiltro.....	128

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	PÁG.
Foto 2-1. Sistema de tratamiento – biofiltro	84
Foto 2-2. Tanque de oxigenación	85
Foto 2-3. Tanque de oxigenación – burbujeo.....	92
Foto 2- 4. Alimentación del agua residual al Biofiltro	109
Foto 2-5. Salida del agua residual del Biofiltro.....	109
Foto 2-6. Muestreo del agua residual.....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Clasificación de cuerpos de aguas según su uso	
Anexo N°2: Clasificación según Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica	
Anexo N°3: Comportamientos de parámetros DBO5 - DQO- C.T – O.D- T.D.S- pH respecto del tiempo	
Anexo N°4: Acondicionamiento corte del plastoformo 1x1x1 cm ³ , espesor 1 cm.	
Anexo N°5: Fotos del sistema de Biofiltro	
Anexo N°6: Muestras del efluente.....	