“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DEL MUNICIPIO DE CARAPARÍ

PROV. GRAN CHACO (TARIJA)

Por:

EVELIN VILLALBA ORTIZ

Proyecto de grado (Modalidad: Ampliación, Optimización, y/o Modernización de plantas industriales existentes) presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Octubre de 2019

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez	M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
DECANO	VICEDECANA
Facultad de Ciencias y Tecnología	Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jorge Tejerina Oller

Ing. Ernesto Caihuara Alejandro

Ing. Jimena Durán Durán

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

Dedicado a Dios, mi fuente de fortaleza, escudo protector y forjador de mi camino. A mi papá, y hermana quienes me dieron todo su apoyo y sustento en esta etapa.

Agradezco a mis padres por todo el amor, cariño y respeto, por el gran esfuerzo de toda una vida para ayudarme a cumplir mis metas, a mis hermanos por ser la motivación a superarme cada día, a toda mi familia y personas cercanas por el apoyo brindado. A mis docentes por ser un pilar fundamental en mi formación académica. Al Ing. Fabricio Campero por su valiosa y desinteresada colaboración. A mis tribunales por su tiempo, consejos y exigencia para lograr un buen proyecto. A mi mejor amiga Leticia por su apoyo incondicional. A mis compañeras de travesuras y estudios Jakeline y Abigail; a mis cumpas y amigos, quienes fueron parte de aventuras, sufrimientos y experiencias en la etapa universitaria.

NOMENCLATURA Y DEFINICIONES

Abreviatura	Descripción
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
DQO	Demanda Química de Oxigeno
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxigeno
NMP	Número Más Probable
m.o.	Microorganismos
TRH	Tiempo de Residencia Hidráulica
MMA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
OMS	Organización Mundial de la Salud
UPA	Unidades de Producción Agrícola
INE	Instituto Nacional de Estadística
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
rpm	Revoluciones por minuto
rps	Revoluciones por segundo
PVC	Policloruro de Vinilo
CSTR	Reactor de tanque agitado continuo
PH	Potencial de Hidrógeno

mg/l	Miligramos por litro.
Aguas Residuales Crudas	Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
Aguas Residuales Tratadas	Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.
Cuerpo de Agua	Arroyos, ríos, lagos y acuíferos, que conforman el sistema hidrográfico de una zona geográfica
Cuerpo Receptor	Medio donde se descargan aguas residuales crudas o tratadas.
Descarga	Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor.
Informe de Caracterización	Informe de un laboratorio de servicio autorizado sobre los resultados de los análisis de una muestra de agua.
Límite Permisible	Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.
Afluente	Entrada de aguas residuales
Efluente	Descargas de aguas residuales crudas o tratadas

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES 1

JUSTIFICACIÓN 5

OBJETIVOS 6

Objetivo General 6

Objetivos Específicos 6

METODOLOGÍA 7

CAPÍTULO I
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

I. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA 8

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 8

1.1.1 Tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales 8

1.1.2 Modelo del proceso tecnológico empleado en la PTAR de Caraparí. 9

1.2 MATERIA PRIMA 10

1.2.1 Fuentes de Agua 11

1.2.2 Aguas Residuales 11

1.2.3 Aguas Residuales urbanas o domésticas 11

1.2.4 Características de las aguas residuales domésticas 12

1.2.5 Principales contaminantes y parámetros a controlar en aguas residuales 12

1.2.6 Caracterización de aguas residuales 13

1.2.6.1 Caracterización de las aguas residuales domésticas de Caraparí 14

1.2 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA 16

1.3 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA 17

1.3.1 Planos de las distintas unidades de tratamiento de la PTAR de Caraparí 19

1.4 SERVICIOS AUXILIARES 23

1.5 OPERACIÓN Y CONTROL 25

1.5.1 Tratamiento preliminar y primario 25

1.5.2 Tratamiento Secundario 26

1.5.3 Tratamiento terciario – Humedal artificial 26

1.5.4 Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 27

1.6 ELIMINACIÓN DE EFLUENTES 27

1.6.1 Eliminación del Agua 27

1.6.1.1 Caracterización del agua de descarga de la PTAR de Caraparí. 28

1.6.2 Eliminación de sólidos gruesos..... 29

1.6.3 Eliminación de Lodos..... 29

CAPÍTULO II
CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

II. CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... 30

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 30

2.2 DIAGNÓSTICO; DEFINICIÓN DE CONDICIONES Y CAPACIDAD DE LA PTAR DE CARAPARÍ. 32

2.2.1 Capacidad de la PTAR 34

2.2.2 Diagnóstico de impactos ambientales de la PTAR 37

2.2.2.1 Medio Físico 37

2.2.2.2 Calidad del aire 37

2.2.2.3 Gestión y calidad del agua 38

2.2.2.4 Gestión de residuos solidos..... 39

2.2.2.5 Gestión de Suelo 39

2.2.2.6 Medio Ambiente (Paisaje) 39

2.2.3 Diagnóstico cualitativo de las unidades existentes en la PTAR 39

2.2.3.1 Rejillas 40

2.2.3.2 Desarenador 41

2.2.3.4 Tamiz de tambor rotativo, cribado fino 43

2.2.3.5 Reactor anaeróbico UASB 44

2.2.3.6 Tanque de aireación 48

2.2.3.7 Laguna facultativa 49

2.2.3.8 Humedal Artificial – Tratamiento Terciario 54

2.2.4 Metodología para realizar el diagnóstico cuantitativo 56

2.2.5 Diagnóstico cuantitativo de la PTAR de Caraparí 58

2.2.5.1 Caudal de entrada y salida de la PTAR 58

2.2.5.2 Cálculo de la población equivalente 65

2.2.5.3 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del reactor UASB 66

2.2.5.4 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del tanque de aireación 67

2.2.5.5 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos de la laguna facultativa 67

2.2.5.6 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del humedal 68

2.2.5.7 Diagnóstico de parámetros Microbiológicos de la PTAR. 69

2.2.6 Principales deficiencias encontradas 69

2.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 71

2.3.1 Descripción de las alternativas de solución 74

2.3.1.1 Propuesta para Rejillas 74

2.3.1.2 Optimización del Desarenador 76

2.3.1.3 Optimización del desgrasador o trampa de grasas 76

2.3.1.4 Optimización de la digestión anaeróbica 77

2.3.1.5 Propuesta para la digestión aeróbica (Tanque de aireación) 78

2.3.1.6 Optimización de laguna facultativa 79

2.3.1.7 Propuesta para tratamiento final de refinación – Humedal Artificial 80

2.3.1.8 Propuesta para eliminación de m.o. patógenos (Coliformes) 81

2.3.1.9 Alternativa para eliminación de lodos 83

2.4 SELECCIÓN DEL EQUIPO NECESARIO 84

2.4.1 Selección de un compresor de aire 84

CAPÍTULO III

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

III. ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO 86

3.1 BALANCE DE MATERIA 86

3.2 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO 89

3.2.1 Dimensionamiento del compresor de aire 89

3.2.2 Dimensionamiento del Humedal Artificial 92

3.2.3 Dimensionamiento del clorador 94

3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO OPTIMIZADO 100

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS ECONÓMICO

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO.....102

4.1 COSTO DE CAPITAL..... 102

4.2 COSTO DE OPERACIÓN..... 103

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....105

5.1 CONCLUSIONES 105

5.2 RECOMENDACIONES 106

BIBLIOGRAFÍA 107

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Página

Tablas

Tabla I-1 Características Físico Químicas de las Aguas Residuales que Ingresan a la PTAR de Caraparí (Afluente)..... 15

Tabla I-2 Características Microbiológicas de las Aguas Residuales que Ingresan a la PTAR de Caraparí (Afluente)..... 15

Tabla I-3 Características Físico Químicas de las Aguas Tratadas que Salen de la PTAR de Caraparí (Efluente) 28

Tabla I-4 Características Microbiológicas de las Aguas Tratadas que Salen de la PTAR de Caraparí (Efluente) 28

Tabla II-1 Características del Agua Potable de Caraparí..... 38

Tabla II-2 Dimensionamiento de los canales paralelos 59

Tabla II-3 Medición del Tiempo y la Profundidad del Agua en los Canales..... 60

Tabla II-4 Valor del Caudal de Entrada la PTAR, en Distintas Horas del Día 61

Tabla II-5 Medición del Tiempo de Descarga a un Volumen Constante..... 63

Tabla II-6 Valor del Caudal a la Salida de la PTAR, en Distintas Horas del Día..... 64

Tabla II-7 Medición del Tiempo de Descarga a un Volumen Constante..... 66

Tabla II-8 Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio 67

Tabla II-9 Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio *67*

Tabla II-10 Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio 68

Tabla II-11 Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio 69

Tabla III-1Balance de materia simplificado ……...89

Tabla IV-1 Costo de horas hombre en la operación de la PTAR 104

Cuadros

Cuadro II-1 Resumen de Puntos Críticos Identificados en la PTAR..... 70

Cuadro II-2 Alternativas de Solución Técnico Operativas Sugeridas para las Deficiencias Encontradas 72

Cuadro II-3 Clasificación de Compresores Según su Funcionamiento Básico 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1 Tecnologías Identificadas en las PTARs de Bolivia. 2

Figura 2. Esquema de la Metodología a Emplear en el Estudio. 7

Figura 1-1. Configuración de Trenes de Tratamiento Representativos en Latinoamérica. 9

Figura 1-2. Diagrama de Flujo de UASB + Lagunas de Facultativa y de Pulimiento.. 10

Figura 1-3. Localización de la PTAR de Caraparí. 17

Figura 1-4. Diagrama de Bloques, Distribución de la PTAR de Caraparí. 18

Figura 1-5. Plano general de la PTAR. 19

Figura 1-6. Plano de rejillas. 19

Figura 1-7. Plano del Desarenador, Canal Parshall y Desgrasador. 20

Figura 1-8. Planta Superior del Reactor UASB. 20

Figura 1-9. Corte transversal del Reactor UASB. 21

Figura 1-10. Plano del Tanque de Aireación. 21

Figura 1-11. Distribución de difusores en el Tanque de Aireación. 22

Figura 1-12. Corte Transversal del Humedal Artificial. 22

Figura 1-13. Plano del Lecho de Secado de Lodos. 23

Figura 1-14. Plano de la caseta de controles. 24

Figura 1-15. Plano Eléctrico. 24

Figura 2-1. Vista Satelital de la Entrada a la PTAR de Caraparí. 35

Figura 2-2. Diagrama de bloques del proceso actual de tratamiento de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales de Caraparí. 36

Figura 2-3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos. 46

Figura 2-4. Actividad entre Algas y Bacterias 52

Figura 2-5. Zonas de la Laguna Facultativa. 53

Figura 2-6. Sistema Subterráneo Típico de Humedales Construidos. 54

Figura 2-7. Tipos de Humedales Artificiales. 55

Figura 2-8. Variación del Caudal de Entrada durante el Día. 62

Figura 2-9. Variación del Caudal de Salida. 64

Figura 2-10. Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente. .. 74

Figura 2-11. Vista en Planta de un Sistema Manual de Rejilla con dos Cámaras. 75

Figura 2-12. Dimensiones de las rejillas. 75

Figura 2-13. Vista en planta del desarenador y la ubicación de rejillas. 76

Figura 2-14. Vista Interna de una Trampa de Grasas 77

Figura 2-15. Relación entre Concentración y Tiempo en que el HClO Destruye Diferentes m.o. 82

Figura 2-16. Grafica para la Selección del Tipo de Compresor. 84

Figura 3-1. Diagrama para el Balance General de Materia. 87

Figura 3-2. Dimensiones del Tanque de Aireación. 89

Figura 3-3. Vista Transversal del Humedal Artificial. 94

Figura 3-4. Vista de un Reactor CSTR en HYSYS. 94

Figura 3-5. Tabla de Resultados de la Agitación Asociados con las Velocidades en Volumen. 96

Figura 3-6. Valores del Número de Potencia en Condiciones Turbulentas N_p, para Diferentes Configuraciones del Impulsor. 97

Figura 3-7. Numero de bombeo, en función del número de Reynolds del Impulsor. 98

Figura 3-8. Dimensiones del Hipo Clorador- Reactor CSTR. 99

Figura 3-9. Diagrama de bloques del proceso optimizado..... 100

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Página

Foto 2-1. Vista desde el Mirador del Municipio de Caraparí. 32

Foto 2-2. Vista de la Entrada a la PTAR de Caraparí. 35

Foto 2-3. Rejillas gruesas con presencia de gran cantidad de sólidos. 40

Foto 2-4. Rejillas gruesas y delgadas. 40

Foto 2-5. Desarenador. 41

Foto 2-6. Vista Externa del Desgrasador. 42

Foto 2-7. Tamiz de tambor rotativo. 43

Foto 2-8. Vista Externa del Reactor UASB. 44

Foto 2-9. Superficie del Tanque de Aireación. 48

Foto 2-10. Tuberías para introducir aire al Tanque de Aireación. 48

Foto 2-11. Inicio de la Laguna Facultativa. 49

Foto 2-12. Vista completa de la Laguna Facultativa. 50

Foto 2-13. Final de la laguna Facultativa. 50

Foto 2-14. Humedal Artificial de la PTAR. 54

Foto 2-15. Toma de Muestrea a la Entrada de la PTAR. 56

Foto 2-16. Toma de Muestrea a la Salida de la PTAR. 56

Foto 2-17. Conservadora con Muestras de Aguas Residuales. 57

Foto 2-18. Recepción de Muestras de Aguas Residuales en Laboratorio. 57

Foto 2-19. Canal de entrada de Aguas Residuales a la PTAR. 58

Foto 2-20. Canales paralelos (desarenador). 59

Foto 2-21. Descarga de la PTAR. 62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Límites permisibles para descargas líquidas, Ley 1333…….

ANEXO 2 Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso…..…….

ANEXO 3 Anexo gráfico…….

ANEXO 4 Datos de análisis de aguas reportados por el CEANID y laboratorio de COSAALT…….

ANEXO 5 Fichas de identificación de impactos ambientales……