

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**MÓDULO PARA LA REMOCIÓN DE PLAGUICIDAS EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “SAN
JACINTO”**

Por:

NÉLIDA TANIA HUALLPA VILLAGOMEZ

**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.**

Octubre de 2022

TARIJA - BOLIVIA

V°B°

M.Sc.Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc.Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. René Emilio Michél Cortés

Ing. Gustavo Moreno Lopez

Msc. Ing. Maybeth Bettina Orozco Cruz

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

Este trabajo está dedicado a mis padres; Tania Ninoska Villagomez Laime, Ramón Huallpa Quispe y hermana Ninoska Amancay Huallpa Villagomez, que con amor y apoyo me enseñaron a nunca darme por vencido.

AGRADECIMIENTO

Agradecida profundamente con Dios, por darme el privilegio de abrir los ojos un días más, por haberme dado una vida llena de salud, fuerzas, alegrías, retos y estar presente en cada momento de mi vida.

En memoria a mi docente guía Ing. Jorge Tejerina Oller por brindarme sus conocimientos, tiempo y apoyo a lo largo de mi formación y durante la elaboración de este proyecto.

A mis tribunales Ing. Gustavo Moreno, Ing. René Michel e Ing. Maybeth Orozco por su tiempo y dedicación a fortalecer el presente trabajo.

Al Ing. Freddy López e Ing. Adalid Aceituno y el equipo del laboratorio del CEANID por su apoyo y espacio brindado en la ejecución de este proyecto.

A mi novio Yeison Pablo Vargas Juchani por su apoyo y aliento a seguir adelante en los momentos más difíciles.

PENSAMIENTO

“Todo lo puedo en Cristo que me
fortalece”.

(Filipenses 4:13)

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abs: Absorbancia.

MMAyA: Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

CPE: Constitución Política del Estado.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable.

CA: Carbón Activado.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

POA: Procesos de Oxidación Avanzada.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

RMCH: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

NB: Normativa Boliviana.

COSAALT: Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

O-C: Organoclorados.

UNAM: Universidad Autónoma Nacional de México.

SENASAG: Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria.

IBCE: Instituto Boliviano de Comercio Exterior.

Art: Artículo.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

IDA: Ingesta Diaria Admisible.

IDT: Ingesta Diaria Tolerable.

MDRyT: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.

UTM: Universal Transversal de Mercator

RPM: Revoluciones por Minuto.

CEANID: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo.

IUPAC: La Unión Internacional para la Química Pura y Aplicada.

U.A.J.M.S.: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

q_e : Capacidad de adsorción máxima del adsorbente carbón activado (mg/g).

$C_1 = C_i$: Concentración inicial (mg/l).

$C_2 = C_f$: Concentración final (mg/l) a un tiempo t.

V: Volumen de la solución (l).

m: Masa del adsorbente carbón activado (g).

λ : Longitud de onda (nm).

Ppm: Partes por millón.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Absorbancia máxima (nm).

V_1 : Volumen inicial de la solución (ml).

V_2 : Volumen final de la solución (ml).

C_3H_8O : Isopropanol.

y: Absorbancia leída en el Espectrofotómetro Luz UV - Visible (Abs).

x = C_f : Concentración final del insecticida clorpirifos (mg/l).

GLOSARIO

Límite permisible: concentración máxima o mínima permitida, según corresponda de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para conservar la salud y el bienestar humano y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.

Agua potable: Aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para consumo humano y que cumple con lo establecido en la respectiva norma.

Estiaje: Nivel más bajo o caudal mínimo de un río u otra corriente durante una época del año determinada.

Plaguicidas: Término genérico que incluye todos los compuestos que forman parte de las familias de compuestos orgánicos: insecticidas, fungicidas, acaricidas, nematocidas y alguicidas; los productos derivados y sus metabolitos; productos de degradación y de reacción de los mismos.

Insecticida: Sustancia química que mata insectos.

Clorpirifos: Es un insecticida organofosforado de amplio uso en las viviendas y en la agricultura.

Espectrofotometría: Es una de las técnicas experimentales más utilizadas para la detección específica de moléculas. Se caracteriza por su precisión, sensibilidad y su aplicabilidad a moléculas de distinta naturaleza contaminantes, biomoléculas, etc. y estado de agregación: sólido, líquido, gas.

Agua superficial: son todas aquellas quietas o corrientes en la superficie del suelo. Se trata de aguas que discurren por la superficie de las tierras emergidas y que, de forma general, proceden de las precipitaciones de cada cuenca.

Adsorción: Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

UTM: Las coordenadas UTM determinan el lugar de un punto dentro de una cuadrícula, tomando como origen el vértice inferior izquierdo de la cuadrícula; se indica primero la abscisa (x) y, tras una coma la ordenada (y), ambas en metros.

ÍNDICE

	Páginas
ADVERTENCIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PENSAMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Características generales	1
1.1.2. Fuentes de abastecimiento de agua potable	2
1.1.2.1. La Victoria	2
1.1.2.2. Las Tipas.....	4
1.1.2.3. Río Erquis	5
1.1.2.4. San Jacinto	6
1.1.3. Registros mensuales de caudales en las fuentes de agua potable.....	6
1.1.4. Sistema de abastecimiento actual de agua potable en la ciudad de Tarija	7
1.1.5. Plantas de potabilización.....	8
1.1.5.1. Planta de tratamiento “La Tabladita”	9
1.1.5.2. Planta de tratamiento “San Jacinto”	11
1.1.5.3. Planta de tratamiento “Urbanización Velas”	11
1.1.6. Informe técnico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).....	12

1.2.	Objetivos del trabajo de investigación	16
1.2.1.	Objetivo General	16
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	16
1.3.	Justificaciones del trabajo de investigación	16
1.3.1.	Justificación Económica.....	16
1.3.2.	Justificación Tecnológica.....	17
1.3.3.	Justificación Ambiental.....	17
1.3.4.	Justificación Social.....	17
1.3.5.	Justificación Personal.....	18
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....		19
1.1.	Problemática de los plaguicidas	19
1.1.1.	Efecto de los residuos de plaguicidas sobre el Medio Ambiente	21
1.1.2.	Clasificación de los plaguicidas	22
1.2.	Leyes, normativas y marco legal	26
1.2.1.	Constitución Política del Estado (CPE)	26
1.2.2.	Ley 71 de los Derechos de la Madre Tierra	26
1.2.1.	Ley 1 333 del Medio Ambiente	27
1.2.1.1.	Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.....	28
1.2.2.	Normativa Boliviana 512 “Agua Potable – Requisitos”	28
1.2.3.	Lista de plaguicidas prohibidos y restringidos en Bolivia	30
1.3.	Planta de tratamiento de agua potable “San Jacinto” ³²	
1.3.1.	Localización	32
1.3.2.	Unidades de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Jacinto”	32
1.3.3.	Tanque de regulación	35

1.3.4.	Sala de operaciones.....	35
1.3.5.	Sala de cloración.....	35
1.3.6.	Vivienda del operador.....	36
1.3.7.	Tuberías de impulsión y aducción.....	36
1.4.	Alternativas para la remoción de plaguicida de estudio.....	37
1.4.1.	Empleo de adsorbentes.....	37
1.4.2.	Eficiencia de los biofiltros.....	37
1.4.3.	Procesos de oxidación avanzada.....	38
1.5.	Selección de la alternativa.....	40
1.5.1.	Factores que influyen en la adsorción en fase líquida.....	40
1.5.1.1.	Naturaleza del adsorbente.....	41
1.5.1.2.	Naturaleza del adsorbato.....	42
1.5.1.3.	pH del medio.....	42
1.5.1.4.	Fuerza iónica.....	43
1.5.1.5.	Naturaleza del solvente.....	44
1.5.1.6.	Temperatura.....	44
1.5.1.7.	Competencia con otros adsorbatos.....	44
1.5.2.	Fenómeno de la adsorción.....	45
1.5.3.	Experimentos de adsorción en discontinuo.....	47
1.5.3.1.	Cinética de adsorción.....	48
CAPÍTULO II PARTE EXPERIMENTAL.....		49
2.1.	Introducción.....	49
2.1.1.	Características del Paladín.....	50
2.1.2.	Espectrofotometría.....	52

2.1.2.1.	Espectrofotometría de Luz Ultravioleta - Visible.....	52
2.1.3.	Carbón Activado	53
2.1.4.	Extracción líquido - líquido	54
2.1.5.	Diseño de un Filtro de Carbón Activado.....	54
2.2.	Ejecución de la fase experimental	55
2.2.1.	Diagrama de flujo propuesto para el desarrollo de la parte experimental	56
2.2.2.	Metodología de estudio	57
2.2.2.1.	Primera Etapa: Estandarización por Espectrofotometría Luz Ultravioleta - Visible.....	57
2.2.2.2.	Segunda Etapa: Preparación de las muestras de concentraciones conocidas	58
2.2.2.3.	Tercera Etapa: Adsorción en discontinuo.....	58
2.2.2.4.	Cuarta Etapa: Extracción líquido - líquido	59
2.2.2.5.	Quinta Etapa: Cinética de adsorción.....	60
CAPÍTULO III RESULTADOS DEL ESTUDIO		61
3.1.	Primera etapa: Estandarización por espectrofotometría luz ultravioleta-visible	61
3.2.	Segunda etapa: Preparación de las muestras de concentraciones conocidas	68
3.3.	Tercera etapa: Adsorción en discontinuo	69
3.4.	Cuarta etapa: Extracción líquido – líquido.....	72
3.4.1.	Análisis de las muestras A, B, C y D	73
3.5.	Quinta etapa: Cinética de adsorción.....	80
3.6.	Diseño de un filtro de carbón activado.....	87
3.6.1.	Diseño del canal de entrada y salida del caudal	87

3.6.2.	Dimensionamiento del filtro	89
3.6.3.	Cálculo de masa de carbón activado para el filtro	93
3.6.4.	Balance de materia	93
3.6.5.	Estructura de costo del Trabajo de Grado	97
3.6.5.1.	Diagnóstico general de la situación actual de la PTAP “San Jacinto”	97
3.6.5.2.	Desarrollo de la parte experimental.	97
3.6.5.3.	Documentación.	98
3.6.5.4.	Resumen del presupuesto general.	98
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		99
4.1.	Conclusiones.....	99
4.2.	Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA.....		104
ANEXOS.....		107
Anexo A - Formulario de muestreo y resultados del CEANID.....		107
Anexo B - Encuestas.....		111
Anexo C - Fichas técnicas de reactivos.....		133
Anexo D - Registro fotográfico de la parte experimental.....		142

ÍNDICE DE TABLAS

Páginas

Tabla 1 Tarija: Distribución de la población por género, según censo y área, Censo 2012.....	1
Tabla 2 Resumen de características - Fuente río la Victoria.....	3
Tabla 3 Resumen de características - Fuente las Tipas.....	4
Tabla 4 Resumen de características - Fuente Río Erquis.....	5
Tabla 5 Caudales medios mensuales y producción media anual 2 007 – 2 011 (l/s) Tarija	6
Tabla 6 Producción de fuentes subterráneas COSAALT 2 007 – 2 011 (l/s) Tarija.....	7
Tabla 7 Plantas de tratamiento de agua potable – Tarija	9
Tabla 8 Resultados de análisis - UNAM 2 006.....	14
Tabla I-1 Clasificación de plaguicidas según la OMS	23
Tabla I-2 Clasificación de plaguicidas según la vida media	24
Tabla I-3 Clasificación de plaguicidas según su estructura química	24
Tabla I-4 Principales ingredientes activos (IA) en plaguicidas registrados por el SENASAG, 2 020	25
Tabla I-5 Requisitos para plaguicidas NB 512	29
Tabla I-6 Lista de plaguicidas prohibidos y restringidos en Bolivia	31
Tabla III-1 Barrido en la disolución hija de 900 mg/l de clorpirifos en un rango de longitud de onda.....	65
Tabla III-2 Análisis de las disoluciones hijas a 309 nm.....	65
Tabla III-3 Adsorción en discontinuo en muestra “A” a diferentes intervalos de tiempo.	70
Tabla III-4 Adsorción en discontinuo en muestra “B” a diferentes intervalos de tiempo.	71
Tabla III-5 Adsorción en discontinuo en muestra “C” a diferentes intervalos de tiempo.	71

Tabla III-6 Adsorción en discontinuo en muestra "D" a diferentes intervalos de tiempo.	72
Tabla III-7 Lecturas de absorbancias en la muestra "A"	73
Tabla III-8 Resultados de concentraciones finales en la muestra "A"	75
Tabla III-9 Lecturas de absorbancias en la muestra "B"	75
Tabla III-10 Resultados de concentraciones finales en la muestra "B"	76
Tabla III-11 Lecturas de absorbancias en la muestra "C"	77
Tabla III-12 Resultados de concentraciones finales en la muestra "C"	78
Tabla III-13 Lecturas de absorbancias en la muestra "D"	78
Tabla III-14 Resultados de concentraciones finales en la muestra "D"	79
Tabla III-15 Resultados de muestra "A"- Adsorción máxima <i>q_e</i>	82
Tabla III-16 Resultados de muestra "B"- Adsorción máxima <i>q_e</i>	83
Tabla III-17 Resultados de muestra "C"- Adsorción máxima <i>q_e</i>	85
Tabla III-18 Resultados de muestra "D"- Adsorción máxima <i>q_e</i>	86
Tabla III-19 Costo del diagnóstico de la PTAP "San Jacinto"	97
Tabla III-20 Costo de la parte experimental.	97
Tabla III-21 Costo de la documentación.....	98
Tabla III-22 Presupuesto general.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Abastecimiento de agua para la ciudad de Tarija	8
Figura II-1 Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable "San Jacinto"	32
Figura II-2 Planta de tratamiento de agua potable "San Jacinto"	33
Figura II-3 Floculadores de la PTAP "San Jacinto"	33
Figura II-4 Sedimentadores de la PTAP "San Jacinto"	34
Figura II-5 Filtros de la PTAP "San Jacinto"	34
Figura II-6 Ingreso de un sustrato a un adsorbente según el tamaño	41
Figura IV-1 Gráfico de lectura 1, Absorbancia vs Concentración	66
Figura IV-2 Gráfico de lectura 2, Absorbancia vs Concentración	67
Figura IV-3 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "A" - Absorción máxima vs Tiempo.....	82
Figura IV-4 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "B" - Absorción máxima vs Tiempo.....	84
Figura IV-5 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "C" - Absorción máxima vs Tiempo.....	85
Figura IV-6 Cinética de adsorción de clorpirifos sobre C. A, muestra "D" - Absorción máxima vs Tiempo.....	87

