

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**



**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES
SOLUBLES EN EL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DEL
ÁREA URBANA DE PADCAYA USANDO TRES MACRÓFITAS
EN HUMEDALES ARTIFICIALES A ESCALA PILOTO.”**

Por:

EDUAR ELIO MEJIA TINTILAY

Tesis de Grado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería en Medio Ambiente.

GESTIÓN 2023

ENTRE RÍOS-TARIJA-BOLIVIA

VºBº

.....
M.Sc. Ing. Pedro Bernardo Cruz Gareca.

DOCENTE GUÍA

.....
M.Sc. Ing. Javier Caba Olguín

DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....
M.Sc. Ing. Victor Enrique Zenteno López

VICEDECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

APROBADA POR:

.....
M.Sc. Ing. Luis Rolando Lafuente Retamozo

TRIBUNAL

.....
M.Sc. Ing. Oscar Javier Oller Cruz

TRIBUNAL

.....
Ph.D. Ing. Marco Antonio Guerrero Hiza

TRIBUNAL

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi querida familia, en especial a mis padres, Elio Mejia y Guadalupe Tintilay. Su valentía, esfuerzo, sabias enseñanzas y amor incondicional me han guiado y apoyado en la consecución de mis metas. Este logro les pertenece, con todo mi cariño.

Asimismo, dedico este trabajo a mi hermana menor Maria Belen Mejia, con la esperanza de que este logro sirva de inspiración para que alcance sus sueños y cumpla las metas que busca en la vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, así como a todos los docentes y amigos que, a lo largo de mi formación como profesional, generosamente compartieron sus conocimientos y me brindaron apoyo para convertirme en una mejor persona cada día.

En particular, agradezco a mi docente guía, Pedro Cruz, por su inestimable asesoría, motivación y criterio a lo largo de este proyecto.

También deseo mostrar mi gratitud a las autoridades del municipio de Padcaya por su predisposición para apoyar la presente investigación.

Por último, mi agradecimiento se extiende al comité de agua potable y alcantarillado, así como a todo su personal, por su confianza y colaboración en este esfuerzo.

Sin su respaldo y orientación, este logro no habría sido posible.

PENSAMIENTO

“Una persona que nunca
cometió un error, nunca intentó
algo nuevo”

Albert Einstein

ÍNDICE GENERAL

ADVERTENCIA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

PENSAMIENTO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
5. HIPÓTESIS.....	4
6. OBJETIVOS.....	4
6.1 Objetivo general.....	4
6.2 Objetivos específicos.....	5
SIGLAS Y DEFICIONES.....	6

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTE.....	7
1.2 MARCO HISTÓRICO.....	10
1.3 MARCO TEÓRICO.....	13
1.3.1 Aguas residuales.....	13

1.3.2 Impactos negativos de las aguas residuales.....	13
1.3.3 Aguas residuales domesticas	13
1.3.4 Reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA (UASB).....	14
1.3.5 Tipo de tratamientos de aguas residuales	14
1.3.6 Tecnologías de tratamiento terciario.....	16
1.3.7 Humedal artificial	16
1.3.8 Funciones generales de los humedales artificiales.....	17
1.3.9 Tipos de humedales artificiales	17
1.3.10 Especies de vegetación	20
1.3.11 Componentes de Humedales Construidos	21
1.3.12 Principales mecanismos de remoción en humedales artificiales.....	23
1.3.13 Diseño de humedales	24
1.3.14 Especies de macrófitas seleccionadas	28
1.3.15 Ventajas y desventajas del humedal artificial	37
1.3.16 Parámetros a muestrear	38
1.4 MARCO LEGAL	40
1.4.1 Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPEPB).....	40
1.4.2 Ley 1333 de Medio Ambiente - 27 de abril de 1992	42
1.4.3 Reglamento en materia de contaminación hídrica.....	48
1.4.4 Ley n ° 2029.....	50

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1	UBICACIÓN GEOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	52
2.1.1	Ubicación espacial del municipio.....	52
2.1.2	Delimitación	53
2.1.3	Principales centros poblados.....	56
2.1.4	Límite temporal.....	56
2.1.5	Factores Climaticos.....	56
2.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	57
2.2.1	Cuantitativo	57
2.2.2	Cualitativo.....	58
2.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	58
2.3.1	Experimental:	58
2.3.2	Longitudinal	59
2.3.3	Explicativa:	59
2.4	MÉTODO.....	60
2.4.1	Experimental	60
2.4.2	Observación científica.....	61
2.4.3	Analítico	62
2.5	TÉCNICAS	62
2.5.1	La recopilación bibliográfica	62
2.5.2	La observación.....	63

2.6	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE INVESTIGACIÓN	63
2.6.1	Técnicas de recolección de datos secundarios:	63
2.6.2	Técnicas De Recolección De Datos Primarios:	63
2.6.3	Caracterización De La Calidad De Agua	64
2.6.4	Desarrollo Morfológico De Las Especies Acuáticas Utilizadas	64
2.7	ESTRUCTURA METODOLÓGICA	64
2.7.1	Fase De Gabinete	64
2.7.2	Fase De Campo	67
2.7.3	Fase Postcampo	76

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1	Análisis de las remociones logradas de los humedales	123
3.2	Comparación de disminución de coliformes, fósforo total, nitrógeno total vs crecimiento de tallo	126
3.3	Comparaciones con otros estudios realizados	127

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	CONCLUSIONES	130
4.2	RECOMENDACIONES	132

BIBLIOGRAFÍA	133
---------------------	------------

ANEXOS

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Etapas de tratamiento para las aguas residuales.....	15
Imagen 2: Tipos de macrófitas en humedales artificiales.....	18
Imagen 3: Corte transversal de un humedal artificial de flujo vertical.....	19
Imagen 4: Humedal artificial de flujo superficial horizontal	20
Imagen 5: <i>Azolla filiculoides</i>	28
Imagen 6: <i>Cyperus sp</i>	31
Imagen 7: Ilustración <i>Cyperus</i>	32
Imagen 8: <i>Thypha dominguensis</i>	33
Imagen 9: Corte transversal de los humedales artificiales.....	70
Imagen 10: Vista en planta de los humedales artificiales	71
Imagen 11: Etiqueta colocada en las muestras.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Mecanismos de remoción en humedales artificiales	23
Cuadro 2: Tipos de sustratos y sus características	25
Cuadro 3: Parámetros generales de diseño de humedales	27
Cuadro 4: Superficie de la provincia.....	52

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Ubicación geográfica y límites departamentales	53
Mapa 2: Área urbana Padcaya	54
Mapa 3: Ubicación de los humedales artificiales	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Media del crecimiento del tallo humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora (cm vs fecha)	79
Gráfico 2: Media de crecimiento del tallo humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto (cm vs fecha)	82
Gráfico 3: Media del crecimiento de las hojas humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora (cm vs fecha)	84
Gráfico 4: Media del crecimiento de las hojas humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto (cm vs fecha)	88
Gráfico 5: Media del número de brotes del humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora (brotes vs fecha)	90
Gráfico 6: Media del número de brotes del humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto (brotes vs fecha)	94
Gráfico 7: Media del área ocupada del humedal 3 (<i>Azolla filiculoides</i>) (m² vs fecha)	96
Gráfico 8: Niveles de concentración de DBO₅ del humedal 1 (mg/l)	101
Gráfico 9: Niveles de concentración de DBO₅ del humedal 2 (mg/l)	102
Gráfico 10: Niveles de concentración de DBO₅ del humedal 3 (mg/l)	104
Gráfico 11: Niveles de concentración de N total del humedal 1 (mg/l)	105
Gráfico 12: Niveles de concentración de N total del humedal 2 (mg/l)	107
Gráfico 13: Niveles de concentración de N total del humedal 3 (mg/l)	108
Gráfico 14: Niveles de concentración de P total del humedal 1 (mg/l)	110
Gráfico 15: Niveles de concentración de P total del humedal 2 (mg/l)	111
Gráfico 16: Niveles de concentración de P total del humedal 3 (mg/l)	113
Gráfico 17: Niveles de concentración de coliformes fecales del humedal 1 (NMP)	114

Gráfico 18: Niveles de concentración de coliformes fecales del humedal 2 (NMP)	116
Gráfico 19: Niveles de concentración de coliformes fecales del humedal 3 (NMP)	117
Gráfico 20: Niveles de concentración de pH del humedal 1	119
Gráfico 21: Niveles de concentración de pH del humedal 2	120
Gráfico 22: Niveles de concentración de pH del humedal 3	121
Gráfico 23: Remociones alcanzadas en la primera etapa	123
Gráfico 24: Remociones alcanzadas en la segunda etapa	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características climáticas de Padcaya	57
Tabla 2: Crecimiento (cm) del tallo humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora	77
Tabla 3: Crecimiento del tallo humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto (cm)	80
Tabla 4: Crecimiento de las hojas del humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora (cm)	83
Tabla 5: Crecimiento de las hojas humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto (cm)	86
Tabla 6: Número de brotes humedal 1 (<i>Typha dominguensis</i>) totora	89
Tabla 7: Número de brotes del humedal 2 (<i>Cyperus sp</i>) pasto	92
Tabla 8: Área ocupada del humedal 3 (<i>Azolla filiculoides</i>) (m²)	95
Tabla 9: Desarrollo de la raíz del humedal 1 (cm)	97
Tabla 10: Desarrollo de la raíz del humedal 2 (cm)	98
Tabla 11: Desarrollo de la raíz del humedal 3 (cm)	98
Tabla 12: Análisis de las remociones (%) logradas de los humedales durante la primera etapa	124

Tabla 13: Análisis de las remociones (%) logradas de los humedales durante la segunda etapa 126

Tabla 14: Comparación de disminución de coliformes, fósforo total, nitrógeno total vs crecimiento del tallo 148

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

ANEXO 2: IMÁGENES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS

ANEXO 3: ACTIVIDADES DE LA FASE DE CAMPO

ANEXO 4: CAMBIOS OBSERVADOS EN LAS MACRÓFITAS Y EN LOS HUMEDALES

ANEXO 5: REGISTRO Y DESARROLLO GRADUAL DE LAS MACRÓFITAS

ANEXO 6: MATERIALES, EQUIPOS Y TOMA DE MUESTRAS

ANEXO 7: CLASIFICACIÓN TAXÓNOMICA DE LAS ESPECIES

ANEXO 8: VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES DE PARÁMETROS EN CUERPOS DE AGUA

