

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN HIDRÁULICA



**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACION Y EFICIENCIAS EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE
WARNES**

Por:

ALARCON PERALTA JORGE LUIS

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE- II- 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi hermano, Rodrigo, por ser mi mentor y mi apoyo incondicional en infinitas ocasiones en toda esta etapa estudiantil y formativa de mi carrera profesional.

A mi madre, Wilma, por el constante e infinito apoyo brindado que me llevo a poder culminar esta etapa en mi vida.

INDICE GENERAL

ADVERTENCIA	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	
RESUMEN	

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACION.....	3
1.2.1. Teórica.....	3
1.2.2. Práctica.....	3
1.2.3. Relevancia social.....	3
1.3. DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1. Descripción del problema.....	4
1.3.2. Planteamiento del Problema.....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	5
1.5. OBJETIVOS.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. ALCANCE.....	6

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Lagunas de estabilización u oxidación.....	7
2.1.1. Tipos de lagunas de estabilización.....	8
2.1.2. Dimensionamiento.....	12
2.1.3. Rendimientos.....	14
2.1.4. Aforo de caudales.....	19
2.1.5. Calidad del agua.....	20

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Marco espacial.....	34
3.2. Marco temporal.....	34
3.3. Marco Metodológico.....	34
3.4. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.4.1. Tipo de investigación.....	39
3.4.2. Unidad de análisis.....	39
3.4.3. Análisis de variables.....	39
3.4.4. Variable dependiente.....	39
3.4.5. Variable interviniente.....	39
3.4.6. Población y muestra.....	40
3.4.7. Muestras.....	40
3.4.8. Técnicas e instrumentos para recolección de información.....	40

CAPITULO IV

DESARROLLO DE LA INBESTIGACION

4.1. Descripción de la PTAR.....	40
4.1.1. Ficha técnica.....	40
4.1.2. Descripción y situación actual de los componentes de la PTAR.....	42
4.1.3. Cuerpo receptor.....	47
4.1.4. Afectación a terceros.....	49
4.1.5. Resumen climatológico de la ciudad de Warnes.....	49
4.2. Recopilación de la información	50
4.2.1. Certificados de calidad de agua.....	50
4.2.2. Aforo de caudales.....	58
4.3. Análisis del caudal.....	59
4.4. Diagnóstico del cuerpo receptor respecto al cumplimiento con Anexo A-1, del RMCH de la ley 1333 para clase D.....	63
4.5. Diagnóstico de la situación actual de tratamiento respecto al cumplimiento con el Anexo – 1 del RMCH de la ley 1333.....	67
4.5.1. Análisis de la relación DBO5/DQO.....	67

4.5.2. Análisis de DBO5 en la salida de la PTAR.....	68
4.5.3. Análisis de DQO en la salida de la PTAR.....	69
4.5.4. Análisis de SST en la salida de la PTAR.....	71
4.5.5. Análisis del pH en la salida de la PTAR.....	71
4.5.6. Análisis de aceites y grasas en la salida de la PTAR.....	72
4.5.7. Análisis de fosforo total en la salida de la PTAR.....	73
4.5.8. Análisis de amonio en la salida de la PTAR.....	73
4.5.9. Análisis de Nitrógeno Total en la salida de la PTAR.....	74
4.5.10. Análisis de Sulfuro Total en la salida de la PTAR.....	74
4.5.11. Análisis de Plomo Total en la salida de la PTAR.....	75
4.5.12. Análisis de Antimonio en la salida de la PTAR.....	75
4.5.13. Análisis de Arsénico o en la salida de la PTAR.....	76
4.5.14. Análisis del cadmio en la salida de la PTAR.....	76
4.5.15. Análisis del cloruro libre en la salida de la PTAR.....	77
4.5.16. Análisis del cobre en la salida de la PTAR.....	77
4.5.17. Análisis del Cromo +3 en la salida de la PTAR.....	78
4.5.18. Análisis del Cromo +6 en la salida de la PTAR.....	78
4.5.19. Análisis del Estaño en la salida de la PTAR.....	79
4.5.20. Análisis de Fenoles en la salida de la PTAR.....	79
4.5.21. Análisis del Hierro en la salida de la PTAR.....	80
4.5.22. Análisis del Mercurio en la salida de la PTAR.....	80
4.5.23. Análisis de Zinc en la salida de la PTAR.....	81
4.5.24. Análisis de Coliformes fecales y totales en la salida de la PTAR.....	81
4.6. Determinación de eficiencias de tratamiento en las lagunas.....	83
4.6.1. Eficiencia de remoción de DBO5.....	83
4.6.2. Eficiencia de remoción de DQO en la salida de la PTAR.....	85
4.6.3. Eficiencia de remoción de SST en la salida de la PTAR.....	87
4.6.4. Variación de Ph.....	89
4.6.5. Eficiencia de remoción de aceites y grasas.....	90
4.6.6. Eficiencia de remoción de fosforo total.....	91
4.6.7. Eficiencia de remoción de Amonio-.....	93

4.6.8. Eficiencia de remoción de Nitrógeno Total.....	95
4.6.9. Eficiencia de remoción de Hierro.....	97
4.6.10. Eficiencia de remoción de Coliformes fecales y totales.....	97
4.7. Determinación de parámetros de diseño en lagunas de oxidación.....	99
4.7.1. Caudal de diseño.....	100
4.7.2. Determinación de volúmenes de las lagunas.....	100
4.7.3. Cálculo de parámetros de diseño de lagunas facultativas.....	107
4.7.4. Cálculo de parámetros de diseño de lagunas de maduración I.....	115
4.7.5. Cálculo de parámetros de diseño de lagunas de maduración II.....	121

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMDACIONES

6.1. Conclusiones.....	138
6.2. Recomendaciones.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS.....	143
ANEXOS.....	144
Anexo A. Certificados de calidad del agua.....	144
A-1. Primera campaña.....	144
A-2. Segunda campaña.....	152
A-3. Tercera campaña.....	158
A-4. Cuarta campaña.....	168
A-5. Quinta campaña.....	178
Anexos B. Cálculo de parámetros de diseño.....	192
B-1. En laguna facultativa.....	192
B-2. En laguna de maduración I.....	204
B-3. en laguna de maduración II.....	215

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de una Laguna Anaerobia.....	8
Figura 2.2. Ciclo simbiótico microalgas-bacterias en Lagunas Facultativas.....	9
Figura 2.3. Esquema de una Laguna Facultativa.....	10

Figura 2.4.Relación entre productores, consumidores y descomponedores en Lagunas de Maduración.....	11
Figura 2.5. Vertedero rectangular, triangular y canal Parshall (Ponce, 2013).....	19
Figura 2.6. Canal Parshall prefabricado (EINAR S.A.).....	20
Figura 2.7. Clasificación de las partículas sólidas contenidas en un agua residual, según su diámetro.....	22
Figura 4.1. Google Earth de la planta de tratamiento Warnes.....	42
Figura 4.2 y 4.3. Rejilla y cámara partidora.	43
Figura 4.4. Laguna facultativa I.....	44
Figura 4.5. Laguna facultativa II.....	44
Figura 4.6. Laguna de maduración III.....	45
Figura 4.7. Laguna de maduración IV.....	45
Figura 4.8. Laguna de maduración V.....	46
Figura 4.9. Laguna de maduración VI.....	47
Figura 4.10. Canal de descarga a la salida de la PTAR.....	47
Figura 4.11. Cuerpo receptor.....	48
Figura 4.12. Cuerpo receptor.....	48
Figura 4.13. Componentes del sistema de tratamiento.....	83
Figura 4.14. Componentes del sistema de tratamiento.....	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Relación entre algunos constituyentes inorgánicos y el agua residual.....	23
Cuadro N°2.2. Clasificación de los cuerpos receptores de agua según su aptitud de uso.....	27
Tabla N° 2.3. Cuadro A-1.....	29
Valores máximos admisibles en parámetros de cuerpos receptores	29
Cuadro 2.4. Anexo A-2. Límites permisibles para descargas líquidas.....	33
Tabla 2.5. Límites permisibles para descargas líquidas según Anexo A-2 del RMCH.....	34
Cuadro 4.1. Clasificación de los efluentes secundarios.....	49
Cuadro 4.2. Temperaturas de Warnes.....	50

Tabla 4.3. Resumen de los resultados de calidad del agua residual Campaña N° 1...	51
Tabla 4.4. Resumen de los resultados de calidad del agua residual Campaña N° 2...	52
Tabla 4.5. Resumen de los resultados de calidad del agua residual – Campaña N° 3.....	54
Tabla 4.6. Resumen de los resultados de calidad del agua residual Campaña N° 4...	56
Tabla 4.7. Resumen de los resultados de calidad del agua residual Campaña N° 5...	57
Tabla 4.8. Resumen de caudales aforados en la entrada a la PTAR Warnes.....	58
Tabla 4.9. Cálculo del caudal medio (Situación actual).....	59
Tabla 4.10. Producción mensual de agua potable “año 2021”.....	60
Tabla 4.11. Datación media (L/hab/día).....	61
Tabla 4.12. Resultados de calidad del agua residual Campaña N° 2.....	63
Tabla 4.13. Resultados de calidad del agua residual – Campaña N° 3.....	64
Tabla 4.14. Resultados de calidad del agua residual Campaña N° 4.....	65
Tabla 4.15. Resultados de calidad del agua residual Campaña N° 5.....	66
Cuadro 4.16. Biodegradabilidad del agua residual.....	67
Tabla 4.17. Relación DBO5/DQO.....	68
Tabla 4.18. DBO5 en salida de PTAR.....	68
Tabla 4.19. DQO en salida de PTAR.....	69
Tabla 4.20. SST en salida de PTAR.....	71
Tabla 4.21. pH en salida de PTAR.....	71
Tabla 4.22. Aceites y grasas en salida de PTAR.....	72
Tabla 4.23. Fósforo total en salida de PTAR.....	73
Tabla 4.24. Amonio en salida de PTAR.....	73
Tabla 4.25. Nitrógeno total en salida PTAR	74
Tabla 4.26. Sulfuro total en salida de PTAR	74
Tabla 4.27. Plomo total en salida de PTAR	75
Tabla 4.28. Antimonio en salida de PTAR.....	75
Tabla 4.29. Arsénico en salida de PTAR.....	76
Tabla 4.30. Cadmio en salida de PTAR.....	76
Tabla 4.31. Cloruro libre en salida de PTAR.....	77
Tabla 4.32. Cobre en salida de PTAR.....	77

Tabla 4.33. Cromo +3 en salida de PTAR.....	78
Tabla 4.34. Cromo +6 en salida PTAR.....	78
Tabla 4.35. Estaño en salida de PTAR.....	79
Tabla 4.36. Fenoles en salida de PTAR.....	79
Tabla 4.37. Hierro en salida de PTAR	80
Tabla 4.38. Mercurio (3) en salida de PTAR.....	80
Tabla 4.39. Zinc en salida de PTAR.....	81
Tabla 4.40. Coliformes totales en salida de PTAR.....	81
Tabla 4.41. Coliformes fecales en salida de PTAR.....	82
Tabla 4.42. Eficiencia de remoción de DBO5 en todo el sistema.....	83
Tabla 4.43. Eficiencia de remoción de DBO5 en Laguna Facultativa.....	84
Tabla 4.44. Eficiencia de remoción de DBO5 en Laguna Maduración I.....	84
Tabla 4.45. Eficiencia de remoción de DBO5 en Laguna Maduración II.....	84
Tabla 4.46. Eficiencia de remoción de DQO en todo el sistema.....	85
Tabla 4.47. Eficiencia de remoción de DQO en Laguna Facultativa.....	86
Tabla 4.48. Eficiencia de remoción de DQO en Laguna de Maduración I.....	86
Tabla 4.49. Eficiencia de remoción de DQO en Laguna de Maduración II.....	86
Tabla 4.50. Eficiencia de remoción de SST en todo el sistema.....	87
Tabla 4.51. Eficiencia de remoción de SST en Laguna Facultativa.....	88
Tabla 4.52. Eficiencia de remoción de SST en Laguna de Maduración I.....	88
Tabla 4.53. Eficiencia de remoción de SST en Laguna de Maduración II.....	88
Tabla 4.54. Variación de pH en todo el sistema.....	89
Tabla 4.55. Eficiencia de remoción de Aceites y Grasas en todo el sistema.....	90
Tabla 4.56. Eficiencia de remoción de Aceites y Grasas en Laguna Facultativa.....	90
Tabla 4.57. Eficiencia de remoción de Aceites y Grasas en Laguna de Maduración I.....	90
Tabla 4.58. Eficiencia de remoción de Aceites y Grasas en Laguna de Maduración II.....	91
Tabla 4.59. Eficiencia de remoción de Fósforo total en todo el sistema.....	91
Tabla 4.60. Eficiencia de remoción de Fósforo total en Laguna Facultativa.....	92
Tabla 4.61. Eficiencia de remoción de Fósforo total en Laguna de Maduración I....	92

Tabla 4.62. Eficiencia de remoción de Fósforo total en Laguna de Maduración II ...	93
Tabla 4.63. Eficiencia de remoción de Amonio en todo el sistema.....	93
Tabla 4.64. Eficiencia de remoción de Amonio en Laguna Facultativa.....	94
Tabla 4.65. Eficiencia de remoción de Amonio en Laguna de Maduración I.....	94
Tabla 4.66. Eficiencia de remoción de Amonio en Laguna de Maduración II.....	94
Tabla 4.67. Eficiencia de remoción de Nitrógeno total en todo el sistema.....	95
Tabla 4.68. Eficiencia de remoción de Nitrógeno total en Laguna Facultativa.....	95
Tabla 4.69. Eficiencia de remoción de Nitrógeno total en Laguna Maduración I.....	96
Tabla 4.70. Eficiencia de remoción de Nitrógeno total en Laguna de Maduración II.....	96
Tabla 4.71. Eficiencia de remoción de Hierro en todo el sistema.....	97
Tabla 4.72. Eficiencia de remoción de Coliformes totales en todo el sistema.....	97
Tabla 4.73. Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales en todo el sistema.....	98
Tabla 4.74. Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales en Laguna Facultativa...	98
Tabla 4.75. Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales en Laguna de Maduración I.....	98
Tabla 4.76. Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales en Laguna de Maduración II.....	99
Tabla 4.77. Resultados en laguna facultativa.....	114
Tabla 4.78. Resultados en laguna de maduración I.....	121
Tabla 4.79. Resultados en laguna de maduración II.....	127
Tabla 5.1. Eficiencia de remocion de DBO5 En la laguna facultativa.....	128
Tabla 5.2. Resultados de carga orgánica superficial.....	129
Tabla 5.2.1. Carga superficial en lagunas facultativas en función de la temperatura.....	129
Cuadro 5.3. Temperaturas.....	129
Tabla 5.4. Eficiencia simulada comparada con eficiencia Real.....	130
Tabla 5.5. Coeficiente de decaimiento bacteriano (kb).....	131
Tabla 5.6. Eficiencia de remoción de coliformes fecales en laguna facultativa.....	132
Tabla 5.7. Eficiencia de remoción de coliformes fecales en laguna de maduración I.....	133

Tabla 5.8. Tasa constante de primer orden para la remoción de bacterias (kb).....	133
Tabla 5.9. Coeficiente de eliminación de la DBO en la alguna de maduración II...	134
Tabla 5.10. Eficiencia de remoción de DBO5 en laguna de maduración I.....	134
Tabla 5.11. Eficiencia de remosion de Coliformes Fecales en Laguna de Maduracion II.....	135
Tabla5.12. Tasa constante de primer orden para la remoción de bacterias (Kb).....	136
Tabla 5.13. Coeficiente de eliminación de la DBO en la laguna de maduración II..	137
Tabla 5.14. Eficiencia de remoción de DBO5 en laguna de maduración II.....	137