

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



**TÍTULO:**

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA (HUELLA AZUL, HUELLA VERDE Y HUELLA GRIS) DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO PROVINCIA MÉNDEZ, PARA PROPONER ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE RECURSO HÍDRICO Y CONSUMO ÓPTIMO”**

**Por:**

**CAMILA MABEL LAIME RIVERA**

Modalidad de Graduación: Tesis de Grado, presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Medio Ambiente.

**GESTIÓN -2022**

**ENTRE RÍOS - TARIJA – BOLIVIA**

V°B°

.....  
M.Sc. Ing. Herlan Baldiviezo Baldiviezo  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
M.Sc. Ing. Henry Esnor Valdez Huanca  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....  
M.Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zuñiga  
**VICEDECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

**APROBADA POR:**

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

.....  
M.Sc. Ing. Luis LaFuente Retamozo  
**TRIBUNAL**

.....  
Ing. Gil Vedia Bruno  
**TRIBUNAL**

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.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios nuestro maestro y amigo, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de cumplir mi sueño y darle esta satisfacción a mi familia.

A mi madre; Mabel Rivera y mi padre; Rene Laime, quien con amor y comprensión han apoyado siempre cada paso y logro en mi vida, por ser el motivo de fuerza e inspiración, para no decaer y superarme cada día.

A mi abuela Isabel Silvetty por hacer todos estos años llenos de alegría y dicha por tenerla a mi lado.

A mis hermanos y demás familia en general, por el apoyo que siempre me brindaron día a día, en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria y por ser parte de mi camino a lograr en este tan anhelado objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme la vida y la oportunidad de sobrellevar y vencer cada obstáculo a lo largo de mi carrera y poder cumplir una de mis metas.

A mis padres por la motivación y apoyo constante durante la realización de este trabajo; Por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y experiencias.

A mis hermanos; Yesica, Víctor y Carlos por el apoyo moral que me brindaron durante toda mi etapa de estudio.

Agradecer a cada uno de los Docentes de Ingeniería en Medio Ambiente por sus enseñanzas y por su guía, amistad, tiempo y consejos para forjar mi desarrollo personal y profesional.

Una gratitud especial a mi Docente Guía: M.Sc. Ing. Herlan Baldiviezo Baldiviezo por haberme apoyado y brindado herramientas para la realización del presente trabajo.

Un agradecimiento a mis Docentes Tribunales: Ph.D. Ing. Marco Antonio Guerrero Hiza, M.Sc. Ing. Luis LaFuente Retamozo, Ing. Gil Vedia Bruno por la predisposición, consejos y tiempo que me dieron para la elaboración de este trabajo.

A mis amigos por su constante apoyo, con los que he compartido grandes momentos y por estar siempre en mutuo apoyo.

“El agua es la fuerza motriz de toda la  
naturaleza”

Leonardo da Vinci

## ÍNDICE GENERAL

ADVERTENCIA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

PENSAMIENTO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	4
Planteamiento del Problema.....	4
Formulación del Problema .....	5
HIPÓTESIS.....	5
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	6

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1.ANTECEDENTES (MARCO HISTÓRICO).....	7
1.2.MARCO CONCEPTUAL.....	11
1.2.1. Huella hídrica.....	11
1.2.2. Agua azul.....	12
1.2.3. Agua verde.....	12
1.2.4. Agua gris.....	12
1.2.5. Huella de agua azul.....	12
1.2.6. Huella de agua verde.....	13
1.2.7. Usuario (consumidor).....	13
1.2.8. Consumo de agua potable.....	13
1.3.MARCO TEÓRICO.....	13
1.3.1. Valores de Uso.....	13
1.3.2. Valores de no Uso.....	14

1.3.3. Sustentabilidad y Sostenibilidad del agua.....	14
1.3.4. Huella Hídrica.....	14
1.3.5. Componentes básicos de la huella hídrica.....	15
1.3.6. Tipos de huella hídrica.....	15
1.3.7. Huella hídrica-Sector Público.....	16
1.3.8. Huella hídrica-Sector Residencial.....	16
1.3.9. Huella hídrica-Sector Industrial.....	17
1.3.10. Huella hídrica-Sector Comercial.....	17
1.3.11. Huella hídrica-Sector Agrícola.....	17
1.3.12. Costo- beneficio.....	17
1.3.13. Dotación futura de agua .....	18
1.3.14. Escasez del agua.....	18
1.3.15. Razones para calcular la huella hídrica.....	19
1.3.16. Medidas para reducir la huella hídrica.....	19
1.4.MARCO LEGAL.....	20
1.4.1. Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.....	20
1.4.2. Ley del Medio Ambiente Ley N° 1333.....	20
1.4.3. Ley de los derechos de la Madre Tierra 071 de 21 de diciembre del 2010.....	23
1.4.4. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.....	23
1.4.5. GUÍA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.....	24

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	25
2.2. Ubicación Geográfica.....	25
2.3. Límites Territoriales.....	27
2.4. Extensión Territorial.....	28
2.5. ASPECTOS FÍSICOS NATURALES.....	28
2.5.1. Suelos.....	28

<b>2.5.2. Clasificación de Suelos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.3. Fisiografía.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6. Cordillera Oriental .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.1. Montañas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.2. Serranías.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.3. Colinas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.4. Piedemontes.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.5. Valles.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7. Hidrografía.....</b>	<b>30</b>
<b>2.8. Clima.....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.1. Clima cálido desértico.....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.2. Clima cálido semiárido.....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.3. Clima frío árido.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.4. Clima frío semiárido.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.5. Clima frío semiárido húmedo.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.6. Clima paramo bajo semiárido.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.7. Clima templado semiárido.....</b>	<b>32</b>
<b>2.9. MATERIALES.....</b>	<b>32</b>
<b>2.9.1. Georreferenciación de los Puntos de Muestreo.....</b>	<b>33</b>
<b>2.9.2. Materiales de Toma de Muestras.....</b>	<b>33</b>
<b>2.9.3. Materiales de campo.....</b>	<b>33</b>
<b>2.9.4. Materiales de Gabinete.....</b>	<b>33</b>
<b>2.10. METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
<b>2.10.1. Método Descriptivo.....</b>	<b>34</b>
<b>2.10.2. Método Cuantitativo.....</b>	<b>34</b>
<b>2.10.3. Método Analítico.....</b>	<b>35</b>
<b>2.11. Técnica de Investigación.....</b>	<b>35</b>
<b>2.11.1. Técnica de la Encuesta.....</b>	<b>35</b>
<b>2.11.2. Tipos de preguntas.....</b>	<b>36</b>
<b>2.11.3. Observación Directa.....</b>	<b>36</b>

<b>2.12. INSTRUMENTOS.....</b>	<b>36</b>
<b>2.12.1. Consulta de bibliografía y documentación (internet, informes, etc.).....</b>	<b>37</b>
<b>2.12.2. Trabajo de campo (visitas, encuestas, etc.) .....</b>	<b>37</b>
<b>2.13. ESTRUCTURA METODOLÓGICA.....</b>	<b>37</b>
<b>2.13.1. Fase de Gabinete.....</b>	<b>37</b>
<b>2.13.2. Fase de Campo.....</b>	<b>44</b>
<b>2.13.3. Fase de Postcampo.....</b>	<b>45</b>

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>3.1. Resultado de la cuantificación del consumo de agua potable del área urbana del municipio de San Lorenzo Provincia Méndez.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2. Resultado del sistema organizacional de la empresa prestadora del servicio de agua potable del área urbana del municipio de San Lorenzo Provincia Méndez.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1. Análisis de las encuestas vinculadas a la investigación.....</b>	<b>52</b>
<b>3.3. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del área urbana del Municipio de San Lorenzo Provincia Méndez.....</b>	<b>68</b>
<b>3.4. Estimación de la huella hídrica del área urbana del Municipio de San Lorenzo aplicando el “MANUAL DE EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA” por Water Footprint Netword.....</b>	<b>71</b>
<b>3.5. Resultado del análisis de la Sostenibilidad en función a los resultados obtenidos de la Huella Hídrica.....</b>	<b>82</b>
<b>3.6. Estrategias para la optimización en el consumo del recurso hídrico del área urbana del Municipio de San Lorenzo Provincia Méndez.....</b>	<b>85</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>4.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>4.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO N° 1 CONOCIMIENTO DE LA HUELLA HÍDRICA.....</b>	<b>52</b>
<b>GRÁFICO N° 2 ACTIVIDAD DE MAYOR CONSUMO DE AGUA.....</b>	<b>54</b>
<b>GRÁFICO N° 3 CANTIDAD DE INODOROS POR VIVIENDA.....</b>	<b>55</b>
<b>GRÁFICO N° 4 TIPO DE INODOROS.....</b>	<b>56</b>
<b>GRÁFICO N° 5 CANTIDAD DE DUCHA POR VIVIENDA.....</b>	<b>57</b>
<b>GRÁFICO N° 6 TIPO DE DUCHA POR VIVIENDA.....</b>	<b>58</b>
<b>GRÁFICO N° 7 USO DE LA DUCHA.....</b>	<b>59</b>
<b>GRÁFICO N° 8 LAVADO DE SERVICIO.....</b>	<b>60</b>
<b>GRÁFICO N° 9 LAVADO DE ROPA POR SEMANA.....</b>	<b>61</b>
<b>GRÁFICO N° 10 POSEE LAVADORA Y CON QUÉ FRECUENCIA LA USA.....</b>	<b>62</b>
<b>GRÁFICO N° 11 CAPACIDAD DE LA LAVADORA.....</b>	<b>63</b>
<b>GRÁFICO N° 12 RIEGO DE JARDÍN.....</b>	<b>64</b>
<b>GRÁFICO N° 13 USO PARA LAVADO DE AUTOMÓVIL.....</b>	<b>65</b>
<b>GRÁFICO N° 14 QUE USA PARA LAVADO DE AUTOMÓVIL.....</b>	<b>66</b>
<b>GRÁFICO N° 15 CUENTA CON PISCINA.....</b>	<b>67</b>
<b>GRÁFICO N° 16 RELACIÓN DEL DBO5 EN LOS 3 PUNTOS DE MUESTREO Y LOS LMP.....</b>	<b>73</b>
<b>GRÁFICO N°17 RELACIÓN DE LA DQO EN LOS 3 PUNTOS DE MUESTREO Y LOS LMP.....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO N° 1 LIMITES TERRITORIAL DEL MUNICIPIO.....</b>	<b>12</b>
<b>CUADRO N° 2 ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO PROVINCIA MÉNDEZ.....</b>	<b>38</b>
<b>CUADRO N° 3 RANGO DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS SOBRE LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES DE LA CUENCA.....</b>	<b>48</b>
<b>CUADRO N° 4 DATOS DEL CONSUMO PROMEDIO DE AGUA POR HABITANTE.....</b>	<b>72</b>
<b>CUADRO N° 5 RELACIÓN DEL DBO5 EN LOS 3 PUNTOS DE MUESTREO Y LOS LMP.....</b>	<b>73</b>
<b>CUADRO N° 6 RELACIÓN DE LA DQO EN LOS 3 PUNTOS DE MUESTREO Y LOS LMP.....</b>	<b>74</b>
<b>CUADRO N° 7 MANTENIMIENTO DE LAS AREAS VERDES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN LORENZO PROVINCIA MÉNDEZ....</b>	<b>78</b>
<b>CUADRO N° 8 RESULTADOS OBTENIDOS DE DBO<sub>5</sub>.....</b>	<b>89</b>
<b>CUADRO N° 9 RESULTADOS OBTENIDOS DE DQO.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 1 CONOCIMIENTO DE LA HUELLA HÍDRICA.....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA N° 2 ACTIVIDAD DE MAYOR CONSUMO DE AGUA.....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA N° 3 CANTIDAD DE INODOROS POR VIVIENDA.....</b>	<b>54</b>
<b>TABLA N° 4 TIPO DE INODOROS.....</b>	<b>55</b>
<b>TABLA N° 5 CANTIDAD DE DUCHA POR VIVIENDA.....</b>	<b>56</b>
<b>TABLA N° 6 TIPO DE DUCHA POR VIVIENDA.....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA N° 7 USO DE LA DUCHA.....</b>	<b>58</b>
<b>TABLA N° 8 LAVADO DE SERVICIO.....</b>	<b>60</b>
<b>TABLA N° 9 LAVADO DE ROPA POR SEMANA.....</b>	<b>61</b>
<b>TABLA N° 10 POSEE LAVADORA Y CON QUÉ REGULARIDAD LA USA... </b>	<b>62</b>
<b>TABLA N° 11 CAPACIDAD DE LA LAVADORA.....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA N° 12 RIEGO DE JARDÍN.....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA N° 13 USO PARA LAVADO DE AUTOMÓVIL.....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA N° 14 QUE USA PARA LAVADO DE AUTOMÓVIL.....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA N° 15 CUENTA CON PISCINA.....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE IMAGEN

<b>IMAGEN N° 1 UBICACIÓN GEOGRAFICA.....</b>	<b>25</b>
<b>IMAGEN N° 2 AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN LOREZO DISTRITO I.....</b>	<b>39</b>
<b>IMAGEN N° 3 AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN LOREZO DISTRITO II.....</b>	<b>40</b>
<b>IMAGEN N° 4 UBICACIÓN DE LA PTAR.....</b>	<b>70</b>
<b>IMAGEN N° 5 HUMEDALES.....</b>	<b>70</b>
<b>IMAGEN N° 6 POSICIÓN ACTUAL: UNIDADES DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>71</b>
<b>IMAGEN N° 7 MAPA DE COBERTURA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO.....</b>	<b>76</b>
<b>IMAGEN N° 8 MAPA DE COBERTURA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DISTRITO II.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO N° 1 DISEÑO DE LA ENCUESTA.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO N° 2 CONJUNTO DE ENCUESTAS LLENADAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO N° 3 PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO N° 4 GEORREFERENCIACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO N° 5 COORDENADAS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO N° 6 MATERIALES Y TOMA DE MUESTRAS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO N° 7 COLECTA DE MUESTRAS.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO N° 8 TRASLADO Y ENTREGA DE MUESTRAS AL LABORATORIO CEANID – TJA.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO N° 9 RELLENO DE ETIQUETAS DE MUESTREO.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO N° 10 APLICANDO LA ENCUESTA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO N° 11 MODELO DE ETIQUETAS DE MUESTREO.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO N° 12 AREAS VERDES EN MANTENIMIENTO.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO N° 13 RESULTADOS DE LABORATORIO.....</b>	<b>110</b>

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

**HH:** Huella Hídrica.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

**INE:** Instituto Nacional de Estadística.

**PTAP:** Planta de Tratamiento de Agua Potable.

**MDSM:** Ministerio de Desarrollo Sostenible, Medio Ambiente y Agua.

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

**DBO5:** Demanda Biológica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**ARU:** Aguas Residuales Urbanas.

**AR:** Aguas Residuales.

**EPSA:** Entidades Prestadoras de Servicios de Agua y Alcantarillado Sanitario.

**PDM:** Plan de Desarrollo Municipal.

**PTDI:** Plan Territorial de Desarrollo Integral.

**CEANID:** Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo.

**UASB:** Upflow Anaerobic Sludge Blanket “Manto de Lodo Anaeróbico de Flujo Ascendente”.

**TDH:** Tanque de Descarga a Humedales.

**RMCH:** Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

**ℓ:** Litro

**ha:** hectáreas

**hab:** habitantes

**h:** hora

**d:** día

**sem:** semana

**m:** metros

**min:** minutos

**s:** segundo

**mg:** miligramo

**ℓ/s:** litros por segundo

**mg/ℓ:** miligramo por segundo

**ℓ/d:** litro por día

# **INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

**CAPÍTULO II**  
**MATERIALES Y METODOLOGÍA**

**CAPÍTULO III**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

# **ANEXOS**