

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**



**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL AGUA NO FACTURADA (ANF) EN  
EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA SUB  
ZONA EL CARMEN ARANJUEZ”**

**Por:**

**UNIV. RODRIGUEZ MAMANI ROCIO**

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

**SEMESTRE I - 2021**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**

**“ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL AGUA NO FACTURADA (ANF) EN  
EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA SUB  
ZONA EL CARMEN ARANJUEZ”**

**Por:**

**UNIV.: RODRIGUEZ MAMANI ROCIO**

**SEMESTRE I - 2021**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haber bendecido mi vida y guiado en cada uno de mis pasos. A mis padres Benito y Marina por creer en mí, por la motivación constante y sobre todo por su amor incondicional.

A mis hermanos por su cariño y apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	v

### Página

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	1
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis .....	6
1.6. Alcance .....	6
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes del estudio .....	7
2.1.1. Antecedentes empíricos.....	7
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional .....	9
2.1.3. Antecedentes a nivel nacional .....	11
2.1.3.1. El modelo de seguimiento regulatorio.....	12
2.1.3.2. Categorización de las entidades prestadoras de los servicios de agua potable.....	12
2.1.3.3. Agua no contabilizada en la red en Bolivia.....	13
2.1.4. Antecedentes a nivel local .....	15
2.1.4.1. Agua no contabilizada (situación actual – estrategias futuras).....	18
2.1.4.2. Análisis de pérdidas de agua .....	18
2.1.4.2.1. Análisis de pérdidas físicas en Cosaalt.....	18
2.1.4.2.2. Pérdidas comerciales .....	19
2.2. Pérdidas de agua – un problema global .....	20
2.2.1. Origen de las pérdidas .....	20
2.2.2. Agua potable.....	21
2.2.3. Agua No Facturada (antes agua no contabilizada) .....	21

2.2.4. Balance hídrico .....	22
2.2.4.1. Volumen de Entrada al Sistema ( $Q_I$ ) .....	25
2.2.4.2. Consumo autorizado ( $Q_A$ ).....	25
2.2.4.3. Pérdidas de agua ( $Q_P$ ) .....	26
2.2.4.4. Agua Facturada (AF).....	28
2.2.4.5. Agua no Facturada (ANF) .....	28
2.2.5. Reparación de Fugas.....	28
2.2.6. Índice de Pérdidas (IP) .....	29
2.2.7. Pérdidas reales .....	30
2.2.7.1. Causas de las pérdidas reales.....	31
2.2.7.2. Método de intervención para pérdidas reales .....	32
2.2.7.3. Impactos de las pérdidas reales .....	33
2.2.8. Pérdidas aparentes .....	34
2.2.8.1. Clasificación .....	34
2.2.8.2. Método de intervención para pérdidas aparentes .....	35
2.2.9. Definición de términos .....	36
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>37</b>
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	37
3.2. Población y/o muestra de estudio .....	37
3.3. Operacionalización de las Variables.....	37
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	38
3.4.1. Técnicas para la recolección de datos.....	38
3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos .....	39
3.5. Procesamiento y análisis de datos .....	44
3.5.1. Metodología para el cálculo del balance hídrico .....	44
3.5.2. Ejecución paso a paso del balance hídrico .....	45
3.5.3. Límite de confianza del 95% .....	47
<b>ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DEL AGUA NO FACTURADA .....</b>	<b>49</b>
4.1. Generalidades .....	49
4.2. Definición de la Sub Zona de Estudio (El Carmen Aranjuez) .....	49
4.2.1. Ubicación.....	50

4.2.2. Límites .....	51
4.2.3. Red de Distribución de Agua.....	51
4.2.4. Condiciones de control de servicio.....	52
4.2.5. Macro medición.....	52
4.2.6. Micro medición.....	54
4.2.6.1. Caracterización de medidores sub zona El Carmen Aranjuez.....	54
4.3. Componentes del balance hídrico.....	55
4.3.1. Volumen distribuido al sistema ( $Q_I$ ) .....	55
4.3.2. Consumo autorizado ( $Q_A$ ).....	58
4.3.2.1. Consumo autorizado facturado ( $Q_{AF}$ ).....	59
4.3.2.1.1. Consumo facturado medido.....	59
4.3.2.1.2. Consumo facturado no medido.....	61
4.3.2.2. Consumo autorizado no facturado ( $Q_{ANF}$ ) .....	64
4.3.2.2.1. Consumo no facturado medido.....	64
4.3.2.2.2. Consumo no facturado no medido.....	66
4.3.3. Pérdidas de agua (agua no comercializada) ( $Q_P$ ).....	67
4.3.4. Pérdidas aparentes ( $Q_{PA}$ ) .....	68
4.3.4.1. Consumo no autorizado.....	68
4.3.4.1.1. Conexiones clandestinas.....	69
4.3.4.1.2. Pérdidas por servicios sin medición .....	69
4.3.4.2. Pérdidas por inexactitud de medidores.....	70
4.3.5. Pérdidas reales ( $Q_{PR}$ ) .....	71
4.3.6. Agua no facturada (ANF).....	72
4.4. Balance hídrico.....	81
4.5. Análisis de los resultados obtenidos.....	82
4.5.1. Análisis económico.....	83
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
5.1. Conclusiones.....	85
5.2. Recomendaciones .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

Figura N° 1: Niveles de ANF en empresas de agua en el mundo en desarrollo, según la base de datos de IBNET .....	2
Figura N° 2: Agua no contabilizada en diferentes países .....	10
Figura N° 3: Categorización de las EPSA, para la población.....	13
Figura N° 4: Agua no contabilizada de las EPSAS reguladas .....	14
Figura N° 5: Evolución histórica de consumos per-cápita (l/d)-Tarija (2007-2012).....	17
Figura N° 6: Relación entre tasa de fuga (Q) y tiempo de fuga (t).....	31
Figura N° 7: Métodos de intervención para pérdidas reales .....	32
Figura N° 8: Métodos de intervención para pérdidas aparentes .....	35
Figura N° 9: Macromedidor LXCL-100 H <sub>2</sub> Olé de caudal tipo Woltman.....	39
Figura N° 9: Especificaciones técnicas Macromedidor LXCL-100 H <sub>2</sub> Olé .....	40
Figura N° 10: Dataloggers Multilog® LX 2.....	40
Figura N° 12: Micromedidor Marca LAO .....	41
Figura N° 13 Curva de error de un medidor de agua.....	43
Figura N° 14: Sectorización de la sub zona El Carmen Aranjuez .....	51
Figura N° 15: Esquematación de la sub zona y ubicación del macromedidor.....	53
Figura N° 16: Marca de los medidores .....	54
Figura N° 17: Edad de los medidores en la sub zona .....	55
Figura N° 18: Consumo facturado medido en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019.....	61
Figura N° 19: Consumo facturado por promedio en el periodo Dic 2018 – Nov 2019.....	62
Figura N° 20: Volumen de Pérdidas de Agua Vs Volumen Consumo Autorizado, en el periodo de Dic 2018 - Nov 2019 .....	68
Figura N° 21: Resumen de pérdidas Aparentes .....	71
Figura N° 22: Volumen de agua no facturada en el periodo Dic 2018 – Nov 2019.....	73
Figura N° 23: Evolución del ANF en la sub zona El Carmen Aranjuez Dic 2018 - Nov 2019 .....	78
Figura N° 24: Resumen del Balance Hídrico sub zona El Carmen Aranjuez.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág

Tabla N° 1: Promedio del IANF en grandes ciudades de África, Asia, América Latina y Norte América. ....	11
Tabla N° 2: Pérdidas de agua en el sistema .....	18
Tabla N° 3: Metodología del Balance Hídrico Propuesto por el IWA .....	24
Tabla N° 4: Balance Hídrico propuesto por el IWA.....	45
Tabla N° 5: Estimación de bandas de exactitud para cada componente del balance.....	48
Tabla N° 6: Factores de Representatividad para la identificación de la sub zona .....	50
Tabla N° 7: Red de distribución de agua .....	52
Tabla N° 8: Registro de volúmenes de ingreso al sistema.....	56
Tabla N° 9: Volumen proveniente a la sub zona El Carmen Aranjuez .....	57
Tabla N° 10: Resumen del volumen de entrada a la sub zona.....	58
Tabla N° 11: Componentes de Consumo Autorizado.....	58
Tabla N° 12: Volúmenes facturados en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019.....	59
Tabla N° 13: Consumo facturado medido en el periodo de Dic 2018 – Nov 2019 .....	60
Tabla N° 14: Consumo facturado no medido en el periodo Dic 2018 - Nov 2019.....	62
Tabla N° 15: Resumen del consumo autorizado facturado.....	63
Tabla N° 16: Tabla resumen del consumo No Facturado Medido.....	65
Tabla N° 17: Volumen de lavado de redes 2018 - 2019 .....	66
Tabla N° 18: Tabla resumen Consumen No Facturado no Medido.....	67
Tabla N° 19: Resumen cálculo de consumo no autorizado .....	70
Tabla N° 20: Agua no Facturada en la sub zona El Carmen Aranjuez diciembre 2018 a noviembre 2019 .....	77
Tabla N° 21: Análisis económico del agua facturada y no facturada de la sub zona El Carmen Aranjuez en el periodo Dic 2018 – Nov 2019 .....	83