

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE MONITOREO CONTINUO DE CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL DEL APROVECHAMIENTO PARA CONSUMO
HUMANO DE LA ZONA LAS TIPAS**

Por:

LIMBER ZENTENO AGUILERA

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE MONITOREO CONTINUO DE CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA
SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL DEL APROVECHAMIENTO PARA CONSUMO
HUMANO DE LA ZONA LAS TIPAS**

Por:

LIMBER ZENTENO AGUILERA

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

Con el más profundo amor y gratitud, dedico este proyecto a mi madre Julia Aguilera Márquez, el más hermoso ejemplo de lucha, perseverancia y entrega incondicional en mi vida. Mamá, tú eres mi faro en los días oscuros y mi refugio en los momentos más difíciles. Cada paso que he dado ha sido iluminado por tu bendición diaria, que no solo me protege, sino que me guía siempre hacia el camino del bien y la verdad. Este logro es tanto tuyo como mío, porque sin tu apoyo, amor y sacrificio, nada de esto habría sido posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Planteamiento del problema	7
1.4. Formulación del problema.....	8
1.5. Justificación del problema	8
1.6. Límites.....	10
1.7. Alcances	11
1.8. Objetivos.....	12
1.8.1. Objetivo general	12
1.8.2. Objetivos específicos.....	12
1.9. Metodología.....	13
1.10. Instrumentos	16
1.10.1. Molinete electromagnético OTT MF pro.....	16
1.10.2. Perfilador Acústico Doppler de Corrientes ADCP River Boart SP.....	17
1.10.3. Medidor multiparamétrico HI 9829.....	18
1.11. Diseño de la propuesta.....	20
1.12. Etapas de la investigación.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Importancia del monitoreo en tiempo real de los parámetros en la fuente de agua para ... consumo humano	25
2.1.1. Garantizar la calidad del agua	26
2.1.2. Gestión sostenible del recurso hídrico.....	27
2.2. Criterios para la selección de parámetros de medición.....	28

2.2.1.	Relevancia sanitaria.....	29
2.2.2.	Relevancia ambiental	30
2.3.	Parámetros físico-químicos	31
2.3.1.	pH.....	31
2.3.2.	Oxígeno disuelto	32
2.3.3.	Temperatura	33
2.3.4.	Conductividad	34
2.3.5.	Turbidez	34
2.3.6.	Sólidos totales disueltos	35
2.4.	Parámetros de cantidad del agua.....	36
2.4.1.	Caudal	36
2.4.2.	Técnicas de monitoreo y análisis de datos	37
2.4.2.1.	Observación directa o discreta	37
2.4.2.2.	Observación mediante registro continuo.....	38

CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA EXISTENTES DE COSAALT R.L..... 39

3.1.	Diagnóstico integral del sistema de monitoreo de COSAALT R.L.....	39
3.2.	El rol de COSAALT R.L. en el desarrollo y monitoreo del sistema de agua potable en Tarija	40
3.3.	Descripción del sistema actual de monitoreo	42
3.3.1.	Estructura y tecnología utilizada	42
3.4.	Definición de los sistemas hídricos de abastecimiento y distribución que contempla la... cuenca de aporte al área de estudio	42
3.4.1.	Fuentes de agua superficial, subsuperficial y subterránea de la ciudad de Tarija ...	42

3.4.2.	Sistemas hídricos de abastecimiento de fuentes superficiales y subsuperficiales de.. la ciudad de Tarija	49
3.4.3.	Sistema hídrico Rincón de la Vitoria	49
3.4.4.	Sistema hídrico Erquis	52
3.4.5.	Sistema hídrico Los Álamos	54
3.4.6.	Sistema hídrico Las Tipas	56
3.4.7.	Sistema hídrico de abastecimiento de aguas subterráneas.....	59
3.4.8.	Sistemas hídricos de distribución	64
3.5.	Inventario de usos y demandas de agua para los sistemas hídricos definidos y consensuados	67
3.5.1.	Demanda de agua para consumo humano	68
3.5.1.1.	Área de servicio actual	69
3.5.2.	Volúmenes de demanda por fuente	71
3.5.3.	Volúmenes captados por tipo de fuente del periodo 2019-2023	71
3.5.4.	Indicadores AAPS	75
3.6.	Inventario y características de la red de monitoreo de cantidad y calidad actual de. COSAAALT R.L	77
3.6.1.	Monitoreo de cantidad de agua	77
3.6.1.1.	Resumen del monitoreo de cantidad de agua.....	82
3.6.2.	Resultados del monitoreo de calidad de agua.....	83
3.6.3.	Equipos móviles disponibles para el monitoreo	86
3.7.	Gestión de las bases de datos.....	89
3.8.	Conclusión sobre el estado actual de la red fija.....	90
3.8.1.	Red de monitoreo de cantidad de agua.....	90
3.8.2.	Red de monitoreo de calidad de agua.....	90

3.8.3.	Conclusiones sobre el estado de la red de monitoreo móvil	91
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MONITOREO DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA EN LA ZONA LAS TIPAS..... 92		
4.1.	Fundamentos del monitoreo de aforo y calidad del agua en la zona de Las Tipas.....	92
4.1.1.	Establecimiento de una línea base.....	92
4.1.2.	Identificación de variaciones temporales y espaciales.	92
4.1.3.	Justificación Técnica y Económica	93
4.1.4.	Evaluación de las Normativas	93
4.2.	Determinación de los parámetros de calidad del agua.....	93
4.2.1.	Parámetros físicos	94
4.2.2.	Parámetros químicos	95
4.2.3.	Parámetros biológicos	96
4.3.	Clasificación y aforo de caudales	97
4.3.1.	Determinación del caudal mediante aforo por vadeo del agua superficial.....	97
4.3.2.	Métodos para determinar el caudal subsuperficial	98
4.3.2.1.	Uso de gradientes hidráulicos	99
4.3.2.2.	Uso de trazadores naturales o artificiales.....	100
4.3.2.3.	Balance hídrico local	100
4.3.2.4.	Modelos matemáticos y numéricos.....	100
4.3.2.5.	Análisis geofísico.....	101
4.4.	Descripción de las campañas de monitoreo.....	101
4.5.	Resultados de aforo de caudales	103
4.6.	Resultados del monitoreo de la calidad del agua y comparación con la NB 512	104
4.6.1.	Análisis de las tendencias en la calidad del agua durante las campañas	105

4.7.	Comparación de los resultados obtenidos con datos históricos de la zona	107
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MONITOREO DE CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA PARA LA ZONA DE LAS TIPAS.....112		
5.1.	Equipamiento necesario para el monitoreo continuo de la calidad del agua	112
5.1.1.	Importancia del equipamiento y sensores en el monitoreo del agua	113
5.1.1.1.	Importancia de los datos precisos y confiables.	114
5.1.1.2.	Eficiencia operativa	115
5.1.2.	Estación de monitoreo	116
5.1.3.	Sensores de parámetros Físico-Químicos.....	118
5.2.	Equipamiento necesario para el monitoreo continuo de la cantidad de agua	120
5.2.1.	Sensores de nivel.....	120
5.3.	Comparación de sensores disponibles en el mercado	121
5.3.1.	Análisis de proveedores y marcas	125
5.3.1.1.	Proveedor HANNA Instruments	126
5.3.1.2.	Proveedor HACH.....	127
5.4.	Criterios para la selección del equipamiento adecuado	129
5.4.1.	Requisitos técnicos y operativos	129
5.4.2.	Costos y beneficios.....	130
5.4.3.	Adaptabilidad y futuro crecimiento.....	131
5.5.	Propuesta de monitoreo de calidad y cantidad de agua para la zona Las Tipas	131
5.5.1.	Equipos de calidad seleccionados	132
5.5.2.	Equipos de cantidad seleccionados	133
5.5.3.	Presupuesto.....	135
5.5.4.	Especificaciones técnicas	136

5.5.5.	Esquema de la instalación de sensores	139
5.5.6.	Costos de mantenimiento de los equipos	142
5.6.	Análisis y almacenamiento de los resultados	144
5.6.1.	Informatización de la información	145
5.6.2.	Análisis y crítica de datos medidos de calidad de agua.....	146
5.6.2.1.	Recolección de datos.	146
5.6.2.2.	Verificación de la calidad de los datos.....	147
5.6.2.3.	Análisis comparativo.....	147
5.6.2.4.	Análisis de tendencias.	147
5.6.2.5.	Interpretación de resultados.	148
5.6.2.6.	Crítica del proceso de monitoreo.	148
5.6.3.	Análisis y crítica de datos medidos de cantidad de agua.....	148
5.6.3.1.	Recolección de datos.	149
5.6.3.2.	Verificación de la calidad de los datos.....	149
5.6.3.3.	Análisis comparativo.....	149
5.6.3.4.	Análisis de tendencias.	150
5.6.3.5.	Interpretación de resultados.	150
5.6.3.6.	Crítica del proceso de monitoreo.	150
5.7.	Generación de reportes	151
5.7.1.	Proceso de generación de reportes	151
5.7.2.	Frecuencia y distribución de los reportes	152
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		153

6.1.	Conclusiones	153
6.2.	Recomendaciones	154
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
	ANEXOS	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Equipos utilizados para el monitoreo de calidad y cantidad de agua	14
Tabla 2	Detalle del sistema de transporte de la red operada por COSAALT R.L. en la ciudad de Tarija	43
Tabla 3	Resumen de características-SISTEMA HÍDRICO Rincón de la Vitoria	51
Tabla 4	Resumen de características-SISTEMA HÍDRICO Erquis.	53
Tabla 5	Resumen de características-sistema hídrico Los Álamos.....	56
Tabla 6	Resumen de características-sistema hídrico Las Tipas	58
Tabla 7	Fuentes de agua subterráneas de la ciudad de Tarija.....	61
Tabla 8	Clasificación por tipo de usuario de COSAALT R.L.....	68
Tabla 9	Área cubierta con los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en la ciudad de Tarija	70
Tabla 10	Volúmenes de captación superficial del periodo 2019 - 2023.	71
Tabla 11	Volúmenes de captación subsuperficial del periodo 2019 - 2023.....	72
Tabla 12	Resumen de los volúmenes de captación por tipo de fuente del periodo 2019 – 2023.....	73
Tabla 13	Indicadores de abastecimiento de agua reportados por COSAALT R.L.....	76
Tabla 14	Detalle del monitoreo de calidad de agua a cargo del departamento de control de calidad.	83
Tabla 15	Detalle del monitoreo de calidad de agua a cargo del departamento de producción....	84
Tabla 16	Equipo móvil utilizado para el monitoreo de cantidad de agua	86
Tabla 17	Equipo móvil utilizado para el monitoreo de calidad de agua	86
Tabla 18	Coordenadas del punto de medición de calidad y cantidad del agua	102
Tabla 19	Resultados de monitoreo de calidad del agua y comparación con la NB 512.....	104
Tabla 20	Comparación de sensores de calidad del agua disponibles en el mercado nacional.	122
Tabla 21	Comparación de sensores de cantidad de agua.....	125
Tabla 22	Comparación de características de los sensores.	128
Tabla 23	Presupuesto de los sensores.....	135
Tabla 24	Especificaciones técnicas de los equipos.	136
Tabla 25	Costos de mantenimientos de los equipos.	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Obra de toma Las Tipas I.....	11
Figura 2	Molinete OTT MF pro.	16
Figura 3	ADCP River Boart SP.	17
Figura 4	Medidor multiparamétrico HI 9829.	19
Figura 5	Etapas del proyecto de investigación.	21
Figura 6	Esquema de fuentes, infraestructura de captación y conducción del sistema de agua potable de Tarija.....	48
Figura 7	Mapa de cuencas que aportan al sistema hídrico Rincón de la Vitoria.....	50
Figura 8	Mapa de cuencas que aportan al sistema hídrico Erquis.....	52
Figura 9	Mapa de cuencas que aportan al sistema hídrico Los Álamos.....	55
Figura 10	Mapas de cuencas que aportan al sistema hídrico Las tipas.	57
Figura 11	Ubicación de las fuentes de aguas subterráneas en la ciudad de Tarija.....	60
Figura 12	Sistema de distribución en época húmeda	66
Figura 13	Sistema de distribución en época seca	67
Figura 14	Distribución porcentual del consumo por tipo - Tarija.....	69
Figura 15	Área de servicio de agua potable actual - Tarija.....	70
Figura 16	Porcentaje de volúmenes de captación por tipo de fuente	74
Figura 17	Volúmenes de captación por tipo de fuente.....	74
Figura 18	Ubicación del punto de monitoreo de cantidad de agua en el rincón de la Vitoria....	77
Figura 19	Ingreso a la cámara de rebalse y monitoreo de cantidad de agua	78
Figura 20	Válvula utilizada para la regulación del caudal de circulación del canal del Rincón de la Vitoria.....	79
Figura 21	Regleta de medición en centímetros para el monitoreo de la cantidad de agua captada del Rincón de la Vitoria	79
Figura 22	Llegada del canal del Rincón de la Victoria al desarenador de la PTAP Tabladita... 80	
Figura 23	Ingreso del caudal del Rincón de la Vitoria al desarenador previo a la PTAP de Tabladita.....	81
Figura 24	Desarenador ubicado en el bosquecillo de Alto Senac	81
Figura 25	Medidor del tirante a la llegada a la PTAP de Tabladita y planilla de relación Tirante-Caudal.	82
Figura 26	Ingreso de agua a la planta de tratamiento de Tabladita	85

Figura 27	Tanque de almacenamiento de agua tratada de la PTAP.....	85
Figura 28	Multiparamétrico ORION.....	87
Figura 29	Turbidímetro Lamotte.....	87
Figura 30	Medidor de pH.....	88
Figura 31	Comparador HANNA.....	88
Figura 32	Planillas para el registro del monitoreo de calidad de agua en la PTAP de Tabladita.	89
Figura 33	Aforo por vadeo.....	98
Figura 34	Resultados del monitoreo de las campañas de aforo.	103
Figura 35	Reporte del volumen mensual extraído por COSAALT R.L. el año 2019.....	108
Figura 36	Reporte del volumen mensual extraído por COSAALT R.L. el año 2020.....	108
Figura 37	Reporte del volumen mensual extraído por COSAALT R.L. el año 2021.....	109
Figura 38	Reporte del volumen mensual extraído por COSAALT R.L. el año 2022.....	109
Figura 39	Reporte del volumen mensual extraído por COSAALT R.L. el año 2023.....	110
Figura 40	Diagrama del equipamiento para el monitoreo continuo de la calidad del agua	113
Figura 41	Esquema gráfico de la estación de monitoreo continuo de la calidad del agua	118
Figura 42	Sensores para el monitoreo continuo de los parámetros Físico-Químicos.....	119
Figura 43	Esquema de la instalación de los sensores en la caseta de bombeo de Las Tipas I vista en planta	140
Figura 45	Esquema de la instalación de los sensores en la caseta de bombeo de Las Tipas I vista corte A-A.....	141
Figura 46	Caseta de bombeo de Las Tipas I.	142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Especificaciones técnicas de los equipos para el monitoreo continuo de la calidad y cantidad del agua.....	159
Anexo 2.	Fotografías de las 9 campañas realizadas.	170
Anexo 3.	Cotizaciones de los equipos disponibles en el mercado nacional.....	176