



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua
potable del cantón Riobamba.**

**Trabajo de titulación para optar al título de
Ingeniero Civil**

Autor:

Santillán Tagua, Bayron Rolando

Tutor:

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez., MSc

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Bayron Rolando Santillán Tagua**, con cédula de ciudadanía **0605587658**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 11 de diciembre de 2024.



Bayron Rolando Santillán Tagua

C.I. 0605587658

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **María Gabriela Zúñiga Rodríguez** catedrático adscrito a la Facultad de **Ingeniería**, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba”**, bajo la autoría de **Bayron Rolando Santillán Tagua**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 26 días del mes de noviembre de 2024.



Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez., MSc

C.I: 0604004945

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba”**, presentado por **Bayron Rolando Santillán Tagua**, con cédula de identidad número **0605587658**, bajo la tutoría de **Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 11 de diciembre de 2024

Mgs. Jessica Paulina Brito Noboa
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Diana Carolina Merino Gavilánez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **SANTILLAN TAGUA BAYRON ROLANDO** con CC: **0605587658**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **INFLUENCIA DEL COEFICIENTE MÁXIMO HORARIO EN EL DISEÑO DE TANQUES DE RESERVA DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN RIOBAMBA**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 6 de diciembre de 2024.

Ing. Gabriela Zúñiga., MSc.
TUTOR(A)

DEDICATORIA

A Dios, por infundirme la fuerza y el valor necesario para superar todos los obstáculos y alcanzar esta meta. A mi madre, cuyo amor incondicional ha sido mi mayor motivación, su dedicación y compromiso con mi educación es el regalo que más valoro. Este logro es un testimonio de su sacrificio y amor, y me llena de orgullo honrarla de esta manera.

Bayron Rolando Santillán Tagua

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sentido agradecimiento a Dios, por ser mi guía e iluminar mi camino y permitirme alcanzar esta meta.

A mis padres, mi fortaleza e inspiración, su amor incondicional y sus sabios consejos que me han guiado en cada decisión. En especial a mi querida madre Teresa que, a través de sus enseñanzas y amor, me ha forjado como la persona que soy y ha dejado una huella imborrable en mi vida.

A mis hermanos Duberly & Jordán, gracias por enseñarme que la vida es más divertida cuando hay compañía, por estar conmigo en este camino y celebrar cada logro de mi vida. Agradezco de corazón a mi tía Mayra & María, por su cariño y apoyo incondicional.

A mis amigos Dennys, Isabel, Kevin & Oscar, gracias por compartir conmigo las alegrías y tristezas, su apoyo incondicional y su amistad sincera, han hecho de este viaje una experiencia más gratificante e inolvidable.

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, por abrirme las puertas para formarme como profesional, en especial a mi tutora Ing. Ma. Gabriela Zúñiga., MSc gracias por su orientación, sabiduría y paciencia durante el desarrollo del trabajo de titulación, que sin su apoyo no sería posible este proceso.

Para ellos, muchas gracias por todo.

Bayron Rolando Santillán Tagua

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Antecedentes	16
1.1.1. Zona de Estudio.....	17
1.1.2. Sistema de abastecimiento del cantón Riobamba	18
1.2. Planteamiento del problema.....	23
1.3. Objetivos	24
1.3.1. General.....	24
1.3.2. Específicos	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Agua.....	25
2.2. Agua potable	25
2.3. Consumo de agua potable	25
2.4. Variación de consumo	25

2.5.	Coeficiente de variación de consumo máximo horario (Kh)	26
2.6.	Consumo medio diario anual (Qmd)	26
2.7.	Consumo máximo diario (QMD)	26
2.8.	Consumo máximo horario (QMH)	26
2.9.	Caudal de diseño	26
2.10.	Tanques de reserva de agua potable	26
2.11.	Niveles de llenado de tanques de reserva de agua potable	27
2.11.1.	Nivel de llenado mínimo.....	27
2.11.2.	Nivel de llenado máximo.....	27
2.11.3.	Nivel de llenado operativo.....	27
2.12.	Volumen de regulación.....	27
2.13.	Volumen de protección de incendios	27
2.14.	Volumen de emergencia	28
2.15.	Estado del arte	28
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		31
3.1.	Tipo de investigación.....	31
3.2.	Métodos y técnicas de recolección de datos	32
3.3.	Muestra y Población de estudio	34
3.3.1.	Población	34
3.3.2.	Muestra	35
3.4.	Procesamiento y análisis de datos	35
3.4.1.	Validación de coeficientes de consumo horario (Kh)	35
3.5.	Procesamiento y análisis de datos para determinar los niveles medios de llenado.....	36
3.5.1.	Procesamiento de datos.....	36

3.5.2.	Análisis estadístico	36
3.6.	Diseño del volumen de tanques de almacenamiento	37
3.6.1.	Volumen de regulación (V_r)	37
3.6.2.	Volumen de protección contra Incendios (V_i).....	40
3.6.3.	Volumen de Emergencia (V_e).....	41
3.6.4.	Volumen total.....	41
3.7.	Población futura	41
3.7.1.	Método aritmético	42
3.7.2.	Método geométrico.....	42
3.7.3.	Método exponencial	43
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
4.1.	Niveles de llenado de los tanques de reservas de agua potable	46
4.1.1.	Reserva Maldonado	46
4.1.2.	Reserva Piscín	47
4.1.3.	Reserva Saboya	47
4.1.4.	Reserva El Carmen	49
4.1.5.	Reserva San José de Tapi.....	49
4.1.6.	Reserva Yaruquíes.....	50
4.1.7.	Reserva El Recreo	51
4.1.8.	Reserva Tratamiento.....	52
4.1.9.	Reserva San Martín de Veranillo	53
4.2.	Diseño de volúmenes de reserva	53
4.2.1.	Volumen de regulación.....	53
4.2.2.	Volúmenes de protección contra incendios y volúmenes de emergencia.....	57

4.2.3.	Volumen total de almacenamiento	57
4.2.4.	Análisis de diferencia entre volúmenes calculados vs existentes.	58
4.3.	Recomendaciones para el diseño de tanques de Reserva en función a los K_h	59
4.3.1.	Dimensiones del tanque de almacenamiento	59
4.4.	Discusión	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		65
5.1.	Conclusiones	65
5.2.	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Ubicación de las reservas de agua potable del cantón Riobamba.</i>	19
Tabla 2. <i>Reservas de agua potable del cantón Riobamba.</i>	22
Tabla 3. <i>Número de acometidas y habitantes de cada red de distribución.</i>	35
Tabla 4. <i>Proyección de acometidas a 15 años de la red Maldonado.</i>	44
Tabla 5. <i>Proyección de habitantes a 15 años de la red Maldonado.</i>	45
Tabla 6. <i>Volumen contra incendios y volumen de emergencia (Población Actual).</i>	57
Tabla 7. <i>Volumen contra incendios y volumen de emergencia (Población Futura).</i>	57
Tabla 8. <i>Volumen de almacenamiento total diseñado para cada red.</i>	58
Tabla 9. <i>Volúmenes de diseño vs volúmenes existentes en el cantón Riobamba.</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación geográfica del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.</i>	18
Figura 2. <i>Ubicación de las reservas de agua potable distribuidas en el cantón Riobamba.</i>	20
Figura 3. <i>Diagrama de metodología.</i>	32
Figura 4. <i>Ficha de control operacional de reserva de agua potable.</i>	33
Figura 5. <i>Marcación para medir el porcentaje del nivel de llenado.</i>	34
Figura 6. <i>Niveles medios de llenado de la reserva Maldonado.</i>	37
Figura 7. <i>Volumen de regulación, reserva Maldonado.</i>	40
Figura 8. <i>Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Maldonado.</i>	46
Figura 9. <i>Nivel medio del tanque de almacenamiento de la reserva Piscín.</i>	47
Figura 10. <i>Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Saboya.</i>	48
Figura 11. <i>Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Carmen</i>	49
Figura 12. <i>Nivel medio del tanque de almacenamiento de la Reserva San José de Tapi.</i>	50
Figura 13. <i>Nivel medio del tanque de almacenamiento de la reserva Yaruquies.</i>	51
Figura 14. <i>Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Recreo.</i>	52
Figura 15. <i>Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Recreo.</i>	53
Figura 16. <i>Volúmenes de regulación para las nueve reservas de agua potable del cantón Riobamba.</i>	56

RESUMEN

La escasez de agua es un problema que afecta a cientos de ciudades a nivel mundial, el crecimiento poblacional, la contaminación de fuentes hídricas, cambios climáticos y aumento de la demanda son factores que influyen directamente en el desabastecimiento del líquido vital. Para garantizar un flujo continuo hacia las redes de distribución es necesario considerar la inclusión de tanques de almacenamiento, que son estructuras diseñadas para regular la presión y almacenar el caudal necesario para los periodos de mayor demanda. El presente estudio analiza la influencia del coeficiente máximo horario (K_h), en el diseño de tanques de reserva para el cantón Riobamba. Se verificaron los K_h de investigaciones previas realizadas en el cantón, se recopiló información de los sistemas de agua potable, se registraron niveles de llenado de los tanques almacenamiento de las 9 reservas durante 7 días cada hora y se realizó el diseño considerando volúmenes de regulación, emergencia y contra incendios. Los resultados obtenidos indican que la reserva Maldonado no satisface la demanda de la población actual, generando desabastecimiento en las redes de distribución de Maldonado y San Martín de Veranillo, además, un análisis proyectivo a 15 años indica que 7 de las 9 reservas no dispondrán de la capacidad suficiente para cubrir la demanda de la población futura en el año 2039.

Palabras clave: agua potable, coeficiente de consumo horario (k_h), desabastecimiento, redes de distribución, tanques de reserva.

ABSTRACT

Water scarcity is a problem that affects hundreds of cities worldwide, population growth, contamination of water sources, climate change, and increased demand are factors that directly influence the shortage of this vital liquid. To guarantee a continuous flow to the distribution networks, it is necessary to consider the inclusion of storage tanks, which are structures designed to regulate the pressure and store the required flow during periods of higher demand. This study analyzes the influence of the maximum hourly coefficient (K_h) in the design of storage tanks for the canton of Riobamba. The K_h of previous research carried out in the canton was verified, information collected from the potable water systems, the filling levels of the storage tanks of the 9 reservoirs were recorded for 7 days every hour, and the design implemented considering regulation, emergency, and fire protection volumes. The results indicate that the Maldonado reservoir does not meet the demand of the current population, generating shortages in the distribution networks of Maldonado and San Martín de Veranillo. In addition, a 15-year projection analysis indicates that 7 of the 9 reservoirs will not have sufficient capacity to meet the demand of the future population in the year 2039.

Key words: drinking water, reserve tanks, hourly consumption coefficient (k_h), distribution networks, water shortages.



Reviewed by:
Mg. Javier Andrés Saltos Chacán
ENGLISH TEACHER
c.c. 0202481438

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La escasez de agua es un problema que aqueja a cientos de ciudades a nivel mundial, debido a diferentes factores como: crecimiento poblacional, difícil acceso a fuentes hídricas, cambios climáticos, sistemas de distribución obsoletas (Leveque et al., 2024).

Según Martínez et al. (2011), el crecimiento poblacional a causa de la migración desmedida a las zonas urbanas aumenta la densidad de la población, esto genera mayor demanda de los servicios urbanos básicos como el suministro de agua potable creando sistemas altamente ineficientes que ocasiona inconvenientes a los habitantes.

El cantón Riobamba ha experimentado un crecimiento significativo en toda la zona urbana, lo que ha generado un incremento en la demanda de los servicios básicos, especialmente en el suministro de agua potable. La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EP EMAPAR), es la entidad encargada de la captación, tratamiento y distribución de este recurso hídrico, que abastece a la mayor parte de la población. Sin embargo, existen áreas con déficit en la provisión de agua potable, que ha obligado a los habitantes de dichas zonas a implementar soluciones alternativas de almacenamiento e incluso a contratar camiones cisterna en las áreas donde no hay cobertura para este servicio básico (GAD Riobamba, 2019).

La gestión adecuada del recurso hídrico es esencial para el desarrollo de la sociedad ya que ayuda a fortalecer la economía, mejorar la salud, potencializar las industrias y mejorar la calidad de vida de todos los habitantes. Uno de los elementos esenciales para garantizar un flujo continuo en las redes de distribución son los tanques de reserva que ayudan a regular la presión y almacenar el caudal necesario para abastecer la variación de consumo de la población. Sin embargo, para garantizar que el diseño y operación de los tanques sea eficiente hay que tener en cuenta el patrón de consumo horario del cantón.

Es importante analizar el patrón de consumo de agua potable en el cantón, para identificar los diferentes factores claves que influye en la variación de consumo y lograr una gestión hídrica eficiente. Según Arellano & Peña (2020), exponen que los parámetros que influyen en el consumo de agua son: climatológicos, sociodemográficos, socioeconómicos y de gestión y calidad del agua.

Arellano et al. (2018) señalan que los consumos de agua potable dependen en gran medida de las características demográficas, económicas, sociales y tecnológicas de la población. Estos factores determinan las dotaciones mínimas necesarias para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Vives Sarmiento & Naranjo Navas (2021), manifiestan que la economía del cantón Riobamba ha evolucionado a otras fuentes de trabajo: construcción, transporte, información y comunicaciones y manufactura, han dejado de ser productores agrícolas y ganaderos. Este desarrollo evidentemente ha generado mayores fuentes de empleo para sus habitantes y personas de lugares aledaños que han migrado al cantón. En consecuencia, la demanda de los servicios básicos se incrementa y genera que los sistemas de distribución sean ineficientes.

De acuerdo con Saire (2015), el coeficiente de consumo máximo horario es un parámetro importante que hay que considerar para el diseño de sistemas de distribución para garantizar un suministro continuo y satisfacer la demanda máxima de la población.

Es importante contar con un estudio de tanques de reserva de agua potable que abastecen las redes de distribución del cantón, es necesario comparar si los tanques de reserva diseñados en función a los coeficientes de variación de consumo máximo horario satisfacen la demanda de la población actual y futura del cantón Riobamba.

Los resultados de esta investigación tendrán un impacto relevante para la zona de estudio, van a contribuir al conocimiento científico y técnico en la toma de decisiones e implementación de medidas al realizar recomendaciones adecuadas para el diseño de tanques de reserva teniendo en consideración el coeficiente horario máximo de consumo y establecer estrategias de diseño y operación.

1.1.1. Zona de Estudio

El cantón Riobamba está ubicado en la provincia de Chimborazo, en el centro del Ecuador en la cordillera de los Andes, se convierte en la zona de conexión entre las regiones costa, sierra y oriente, a una altura de 2754 msnm, en las coordenadas UTM Zona 17S (E 761688.77 m; S 9814931.38 m), tiene una extensión aproximada de 28.13 km², está dividida en cinco parroquias urbanas y once parroquias rurales. Limita con los cantones Guano y Penipe al norte, con los cantones Colta y Guamote al sur, con el cantón Chambo al este y con la provincia de Bolívar al

oeste (GAD Riobamba, 2019). Según el último censo realizado por INEC, (2022) hay una población aproximada de 260 882 habitantes en el cantón.

A continuación, en la **Figura 1** se muestra la ubicación geográfica del cantón Riobamba, en donde se va a desarrollar el presente estudio:

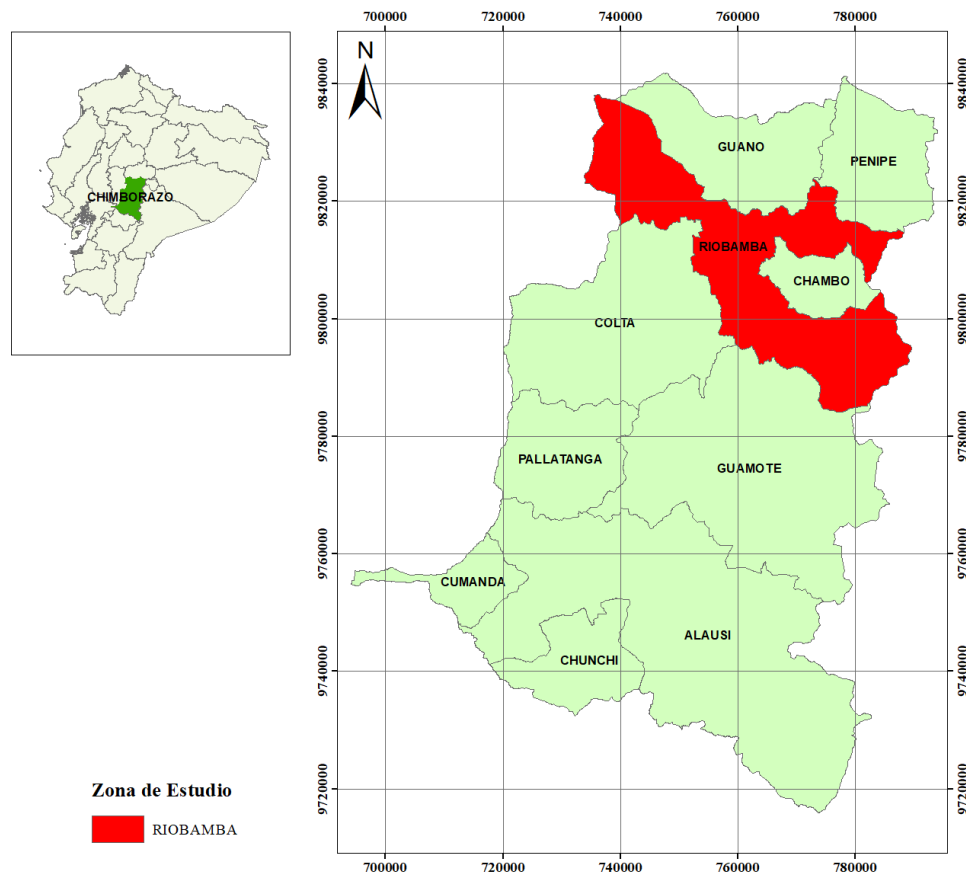


Figura 1. Ubicación geográfica del Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

Fuente: (Santillán, B 2024)

1.1.2. Sistema de abastecimiento del cantón Riobamba

El municipio del cantón Riobamba a través de su empresa EP EMAPAR (2020), destaca que la provisión de agua potable se lleva a cabo mediante nueve redes de distribución: Maldonado, Piscín, La Saboya, El Carmen, San José de Tapi, Yaruquíes, El Recreo, Tratamiento y San Martín de Veranillo. Estas redes de distribución están conectadas a nueve reservas de agua potable: Maldonado, Piscín, La Saboya, El Carmen, San José de Tapi, Yaruquíes, El Recreo, Tratamiento

y San Martín de Veranillo. Sin embargo, esta última reserva aún no está operativa, por lo que la red de distribución San Martín de Veranillo actualmente es abastecida por la reserva Maldonado.

En la **Tabla 1**, se indica en coordenadas UTM Zona 17 S la ubicación de las nueve reservas de agua potable que abastece al cantón Riobamba.

Tabla 1.

Ubicación de las reservas de agua potable del cantón Riobamba.

N°	Reservas	Ubicación UTM Zona 17S	
1	Reserva Maldonado	763426.11 E	9815001.30 N
2	Reserva Piscín	763882.88 E	9816092.18 N
3	Reserva La Saboya	760156.40 E	9817296.69 N
4	Reserva El Carmen	756424.41 E	9817438.49 N
5	Reserva San José de Tapi	758439.86 E	9819500.18 N
6	Reserva Yaruquíes	758005.77 E	9813367.92 N
7	Reserva El Recreo	758214.77 E	9819173.59 N
8	Reserva Tratamiento	757624.62 E	9820680.12 N
9	Reserva San Martín de Veranillo	757925.62 E	9819281.36 N

Fuente: EP EMAPAR, (2020).

La zona de estudio será toda la zona urbana del cantón Riobamba, en la **Figura 2**, se muestra las nueve reservas que se encuentran distribuidas en diferentes partes estratégicas del cantón.

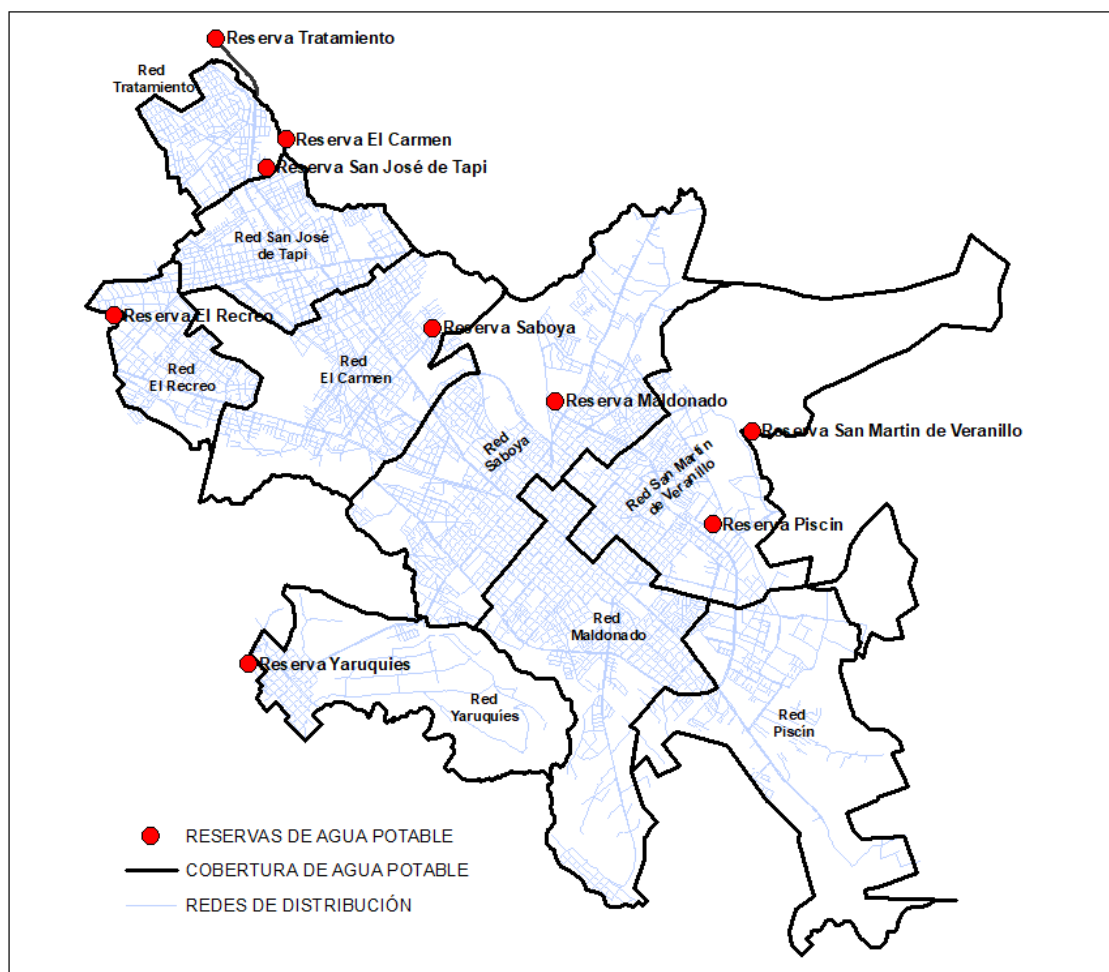


Figura 2. Ubicación de las reservas de agua potable distribuidas en el cantón Riobamba.

Fuente: EP EMAPAR, (2020).

Se detallan las características y aspectos técnicos más relevantes de las nueve reservas de agua potable que se encuentran en el cantón Riobamba.

- **Reserva Maldonado:** está compuesta por dos tanques circulares superficiales de hormigón armado, cada uno con una capacidad de 2500 m³, que equivale a un volumen total de almacenamiento de 5000 m³. La fuente de abastecimiento proviene de los pozos Maldonado, las Abras y de la planta de tratamiento Aireadores. La reserva Maldonado alimenta a la red de distribución Maldonado, la cual cubre 27 sectores con un área total aproximada de 621.34 hectáreas y a la red de distribución San Martín de Veranillo (EP EMAPAR, 2020).

- **Reserva Piscín:** está conformada por un tanque circular superficial de hormigón armado con capacidad de almacenamiento de 2000 m^3 , la fuente de abastecimiento se origina del pozo Piscín y de la planta de tratamiento. La reserva Piscín alimenta a la red de distribución Piscín, la cual cubre 12 sectores con un área total aproximada de 646.85 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva Saboya:** constituida por cinco tanques circulares superficiales de hormigón armado, tres de ellos tienen una capacidad nominal de 1000 m^3 y dos de 2000 m^3 , obteniendo un volumen total de almacenamiento de 7000 m^3 . La fuente de abastecimiento surge de los pozos Huerta, Servidores, las Hierbas, 21 de abril y de la planta de tratamiento Aireadores. La reserva Saboya alimenta a la red de distribución Saboya, que cubre 36 sectores con un área total aproximada de 907.25 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva El Carmen:** está conformada por dos tanques superficiales circulares de hormigón armado con una capacidad de 1500 m^3 y 2000 m^3 , obteniendo un volumen total de almacenamiento de 3500 m^3 . La fuente de abastecimiento es procedente de la planta de tratamiento Aireadores. La reserva El Carmen alimenta a la red de distribución El Carmen, cubre 18 sectores con un área aproximada de 611.61 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva San José de Tapi:** está compuesta por un tanque superficial circular de hormigón armado de 2000 m^3 de capacidad, la fuente de abastecimiento es la planta de tratamiento Aireadores. Esta reserva alimenta a la red de distribución San José de Tapi, que cubre 16 sectores con un área aproximada de 306.46 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva Yaruquíes:** constituida por un tanque superficial circular de hormigón armado de 1000 m^3 de capacidad, se abastece de los pozos El Estadio y El Pedregal. La reserva Yaruquíes alimenta a la red de distribución Yaruquíes, la cual cubre 7 sectores con un área aproximada 458.05 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva el Recreo:** está compuesta por dos tanques rectangulares y un circular de 500 m^3 , obteniendo un volumen total de almacenamiento de 1500 m^3 . La fuente de abastecimiento se origina del pozo 24 de mayo y de la planta de tratamiento Aireadores. La reserva El Recreo abastece a la red de distribución El Recreo, la

misma cubre 11 sectores con un área aproximada de 191.51 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).

- **Reserva Tratamiento:** conformada por un tanque semi superficial de hormigón armado de 1000 m³ de capacidad, se encuentra alimentada de la planta de tratamiento Aireadores. Esta reserva abastece a la red de distribución Tratamiento, la cual cubre 8 sectores con un área aproximada de 168.24 hectáreas (EP EMAPAR, 2020).
- **Reserva San Martín de Veranillo:** está constituida por dos tanques circulares superficiales de hormigón armado de 2000 m³, obteniendo un volumen total de almacenamiento de 4000 m³. Está planificado que se alimente del proyecto de agua potable Maguazo – Alao que actualmente aún no entra en funcionamiento, por eso la red de distribución San Martín de Veranillo está siendo abastecida por la reserva Maldonado, cubre 23 sectores con un área aproximada de 944.64 hectáreas (EP EMAPAR, 2020)

En la **Tabla 2** se muestra las reservas de agua potable del cantón Riobamba, en donde se visualiza su respectivo número de tanques y su capacidad total de almacenamiento.

Tabla 2.

Reservas de agua potable del cantón Riobamba.

N°	Reservas	Número de tanques	Capacidad total [m3]
1	Reserva Maldonado	2	5000
2	Reserva Piscín	1	2000
3	Reserva La Saboya	5	7000
4	Reserva El Carmen	2	3500
5	Reserva San José de Tapi	1	2000
6	Reserva Yaruquies	1	1000
7	Reserva El Recreo	3	1500
8	Reserva Tratamiento	1	1000
9	Reserva San Martín de Veranillo	2	4000

Fuente: EP EMAPAR, (2020).

1.2. Planteamiento del problema

El suministro continuo de agua potable ayuda para el desarrollo de las ciudades, es esencial para el desarrollo de la vida, mejorar la salud y contribuye al buen vivir de la población, ya que es indispensable para actividades cotidianas como: lavar, cocinar e higiene personal, también para actividades más complejas como: la industria, construcción, agricultura.

El cantón Riobamba, al igual que muchas otras ciudades a nivel mundial enfrentan problemas de escasez de agua potable. La expansión urbana, caracterizada por el aumento de la población y de las actividades económicas, generan mayor demanda por este servicio básico.

Esta investigación busca garantizar un flujo continuo de agua potable a los habitantes del cantón Riobamba. La EP EMAPAR, (2020) manifiesta que abastece a la población casi en su totalidad de agua potable, pero existen zonas urbanas que no tienen un suministro continuo, es importante recalcar que existe déficit de agua potable por eso la población se ha visto en la necesidad de usar diferentes métodos de almacenamiento como cisternas que son impulsadas por bombas eléctricas, tanques elevados o contratar camiones cisterna que suministren agua potable a los lugares donde no hay cobertura de este servicio básico.

Uno de los elementos más importantes para garantizar un flujo continuo a la red de distribución son los tanques de reserva. Sin embargo, para asegurar un diseño óptimo y una operación eficiente, es fundamental considerar el coeficiente de consumo máximo horario, un parámetro esencial en el diseño de tanques de almacenamiento. Dado que la demanda de agua es variable, la capacidad de los tanques debe estar dimensionada de manera que pueda satisfacer adecuadamente a las fluctuaciones de consumo máximo requeridas por la población.

El problema central de esta investigación es la necesidad de determinar si los tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba satisfacen la demanda del servicio en función al coeficiente horario máximo de consumo y cómo influye en el diseño de tanques de reserva de agua potable.

Al analizar la problemática antes descrita que se genera en la población del cantón, nos planteamos la siguiente pregunta, la cual se pretende responder en el presente estudio. ¿Los tanques de reserva de la ciudad Riobamba se encuentran diseñados en función de la curva de consumo horario de la población y su volumen abastece a la demanda de los usuarios?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba.

1.3.2. Específicos

- Establecer los niveles de llenado y vaciado de los tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba.
- Usar los coeficientes máximos horarios de investigaciones previas, para analizar el volumen útil de los tanques de reserva de agua potable y compararlo con el actual.
- Realizar recomendaciones para el diseño de tanques de reserva, teniendo en cuenta el coeficiente horario máximo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

El agua ostenta características únicas, que la convierte en un elemento vital para los seres vivos porque ayuda a realizar procesos metabólicos, además posee propiedades únicas que la convierten en una sustancia esencial y valiosa para la vida del planeta (Cirelli, 2012).

2.2. Agua potable

La norma Técnica Ecuatoriana INEN CPE5, (1992) menciona que el agua potable es la que ha recibido cierto tratamiento para cambiar, modificar o eliminar las características físicas, químicas, biológicas o microbiológicas, garantizando que el consumo humano sea seguro y no tenga repercusiones negativas para la población.

2.3. Consumo de agua potable

Es el volumen de agua necesario para que los habitantes realicen sus actividades diarias, se expresada en l/día o m³/día. La variación del consumo depende de varios factores como del clima, costumbres, actividades socio económicas de los habitantes del sector (Segovia, 2018).

2.4. Variación de consumo

Alcocer-Yamanaka et al. (2012), exponen que la demanda de agua potable continuamente está en variación ya sea interanuales, estacionales, semanales, diarias y horarias. Esta variación está estrechamente relacionado al estilo de vida de la población, costumbres o cambios climáticos y días festivos.

Zúñiga et al. (2023), explican que los consumos máximos de agua potable ocurren tanto con sucesos imprevistos o eventos predecibles, los cuales están estrechamente relacionados a las costumbres de los habitantes. Estas costumbres aumentan el consumo hídrico ya que están relacionados con actividades que implica más uso de agua como reuniones familiares, fechas especiales (día de la madre, navidad, año nuevo, festividades locales) o prácticas socio culturales como Carnaval. Evidentemente esto genera que los sistemas de agua potable sean más vulnerables a generar desabastecimiento, por ende, los administradores deben tener planes de emergencia para minimizar este impacto.

2.5. Coeficiente de variación de consumo máximo horario (Kh)

La norma INEN CPE5, (1992) indica que los coeficientes de consumo máximo diario deben usarse para la captación, conducción de aguas superficiales y subterráneas, mientras que el coeficiente de consumo horario debe usarse para el volumen de almacenamiento y distribución, estos valores deben ser establecidos en función a estudios de sistemas existentes. Si no existe este estudio la INEN CPE5, (1992) recomienda utilizar valores de 1.3 – 1.5 para consumo máximo diario y 2 – 2.3 para el consumo máximo horario.

2.6. Consumo medio diario anual (Qmd)

Es el volumen de agua necesario para cubrir la demanda de una población proyectada, considerando la dotación asignada, es el promedio de consumos medios diarios en el transcurso de un año (Segovia, 2018).

2.7. Consumo máximo diario (QMD)

Es el día de máximo consumo necesario para cubrir la demanda de los habitantes en un año tipo. Se obtiene multiplicando el consumo medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario (Ramos, 2019).

2.8. Consumo máximo horario (QMH)

Es la hora de un día de máximo consumo de una serie de registros en un año tipo. Se obtiene multiplicando el consumo medio diario por el coeficiente de consumo máximo horario (Segovia, 2018).

2.9. Caudal de diseño

La norma INEN CPE5, (1992) considera al caudal de diseño como el caudal requerido para satisfacer la demanda de agua de la población o comunidad de estudio. Este caudal debe satisfacer las necesidades al final del periodo de diseño del proyecto.

2.10. Tanques de reserva de agua potable

Son estructuras de gran capacidad, diseñadas específicamente para almacenar la cantidad necesaria de agua para satisfacer la demanda de los usuarios, contrarrestar incendios y posibles emergencias (Cirelli, 2012).

2.11. Niveles de llenado de tanques de reserva de agua potable

Es la cantidad de agua que se introduce y se almacena en los tanques de reserva, se representa como un porcentaje con relación a su capacidad total. El nivel mínimo de llenado debe tener la capacidad de cubrir la demanda más alta de la población y el nivel máximo no debe permitir que el agua rebose (CONAGUA, 2018).

2.11.1. Nivel de llenado mínimo

Es el nivel mínimo de agua que debe almacenar para garantizar el suministro continuo en la red de distribución, se recomienda que este nivel se mantenga entre el 20% y el 30% de la capacidad total del tanque Agüero (1997).

2.11.2. Nivel de llenado máximo

Es el nivel máximo de agua que puede almacenar sin que rebose, es importante mantener este nivel para evitar daños al tanque y mal manejo del recurso hídrico, se recomienda dejar un espacio libre entre 0.30m – 0.50 m (CONAGUA, 2018).

2.11.3. Nivel de llenado operativo

Es el nivel de agua que se encuentra entre los límites máximos y mínimos de llenado del tanque de reserva, define el rango operativo necesario para asegurar un funcionamiento óptimo y garantizar un suministro continuo a las redes de distribución.

2.12. Volumen de regulación

Es el volumen necesario para abastecer la demanda máxima diaria de la población. La norma INEN CPE5, (1992) recomienda que este volumen se lo obtenga en función a los coeficientes de variación de consumo horario de la zona de estudio.

2.13. Volumen de protección de incendios

Es el volumen de agua para contrarrestar incendios. La norma INEN CPE5, (1992) recalca que la función secundaria de la red de distribución es dotar de agua en cantidad y presiones para combatir incendios, por eso se considerara este volumen en el diseño de tanques de reserva.

2.14. Volumen de emergencia

Es el volumen de agua necesario para cubrir cualquier eventualidad que pueda suceder en la zona de estudio. La norma INEN CPE5, (1992) establece que debe ser el 25% del volumen de regulación, siempre y cuando la población supere los 5000 habitantes.

2.15. Estado del arte

La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2023) menciona que más de 2000 millones de personas tienen escasez de agua en el año 2021, se espera que esta situación se agrave cada día más debido a cambios climáticos y el crecimiento poblacional cada vez es más elevado, esto limita la distribución del agua.

Llanos (2021) explica que en la ciudad de Tacna - Perú, se llevó a cabo un estudio de los coeficientes de variación diaria y horaria, con el objetivo que los nuevos sistemas de agua potable se diseñen en función a los consumos reales, consiguiendo sistemas de mayor calidad y eficiencia hídrica. Se determinó que el coeficiente diario es de 1.35, lo que claramente indica un mayor consumo diario en comparación a lo que recomienda la norma 1.30. El coeficiente de variación horaria es de 1.83 que se encuentra dentro de los parámetros establecidos de 1.8 – 2.5.

Llanos (2021), expone que es importante conocer los coeficientes reales de variación de consumo de agua potable, porque ayuda a optimizar la distribución de este recurso a las zonas donde la demanda es menor esto permitirá aumentar la zona de cobertura y beneficiará los sectores donde el acceso al agua es limitado.

World Health Organization [WHO] (1997), recalca que los tanques de almacenamiento de agua se emplean en la mayoría de los sistemas de distribución. La dimensión dependerá de la demanda de la población, recursos disponibles, mantenimiento y también del nivel de experiencia de la empresa encargada.

Según recalca Agüero (2004), en todos los sistemas de agua potable es importante contar con un tanque de almacenamiento, a menos que la capacidad máxima de la fuente de agua sea mayor a la demanda más alta de consumo de los habitantes.

Según Agüero (1997), para establecer la capacidad del tanque de almacenamiento, es necesario considerar diferentes factores como la variación de la demanda, previsión de reservas para posibles interrupciones o situaciones de emergencia (incendios), también dependerá de las

fuentes de abastecimiento del tanque de reserva, es decir si los sistemas se abastecen con fuentes de agua poco confiables necesitan implementar tanques de mayor capacidad.

El estudio realizado por Arellano et al. (2018), exponen que determinaron discrepancias significativas entre los consumos reales de agua potable de 11 localidades ecuatorianas y las dotaciones que establece la norma INEN CPE5, (1992). Este desfase se lo atribuye a la obsolescencia de la normativa debido a que no ha realizado actualizaciones importantes desde su publicación. El estudio destaca que el consumo de agua potable está estrechamente relacionado con el tamaño de la población y estratos socio económicos de los habitantes. Los autores proponen un modelo empírico que relaciona el consumo de agua con el tamaño de la población, también recomiendan a los ingenieros proyectistas considerar todos los factores que influyen en el consumo de agua potable para el cálculo de dotaciones.

En el cantón Riobamba se realizó un estudio por Chuquín et al. (2018) para desarrollar un modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable del cantón. El software empleado para la simulación es EPANET, se comparó los resultados obtenidos con los registros de la empresa de agua potable y alcantarillado de Riobamba (EMAPAR). Los resultados muestran que las presiones en las redes de distribución tienen fluctuaciones entre 0 mca a 85 mca, que evidentemente reflejan que estos valores no se encuentran dentro de los rangos recomendados de 20 mca – 50 mca. Las presiones bajas están relacionadas con velocidades bajas y no logran llegar las cotas más altas, además incide en la disminución de la calidad del agua debido a la degradación del cloro, en cambio en presiones altas genera sobrepresiones en el sistema que puede generar fisuras y con ello fugas incontroladas. También exponen que las tuberías sobredimensionadas presentan velocidades por debajo de los 0.10 m/s, aumento en las pérdidas totales de carga y generando desabastecimiento en las cotas más altas.

Moyón & Ordóñez (2019) realizaron un estudio en el cantón Riobamba, para implementar un prototipo de red de nodos inteligentes para monitorear el tiempo real la calidad y niveles de agua potable almacenada en los tanques de reserva del cantón. El prototipo desarrollado se convierte en una herramienta valiosa para la gestión de la calidad de agua potable, ya que proporciona información en tiempo real y genera datos históricos para el análisis y toma de decisiones que contribuyen a la sostenibilidad del recurso hídrico.

En el cantón Riobamba se desarrolló una investigación del consumo máximo horario, a cuatro redes de distribución de agua potable: Maldonado, Piscín, Saboya y San Martín de Veranillo, con una muestra total de 379 usuarios. Se determinó que el Kh es de: 2.99; 2.61; 2.96 y 2.52 respectivamente, estos valores no se encuentran dentro de los rangos recomendados por la norma INEN CPE5, (1992) que son de: 2 – 2.30 (Alulema & Estrada, 2023).

Avalos & Oleas (2023), realizaron un estudio en el cantón Riobamba del consumo máximo horario, en donde se evidencia que las horas de mayor consumo están estrechamente relacionadas con las actividades que realizan los habitantes. Se determinó que el coeficiente de consumo máximo horario es de: Red Tratamiento 2.16; Red Tapi 3.52; Red El Recreo 1.74; Red El Carmen 2.99 y Red Yaruquies 2.43. Algunos valores no se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma INEN CPE5, (1992) de 2 – 2.30.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El desarrollo del presente estudio de titulación tiene dos enfoques: exploratorio y explicativo. En donde se va a determinar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable y comparar si satisfacen la demanda de la población actual y futura, así como también verificar mediante los niveles de llenado si existen grandes cantidades de agua estancada durante un periodo de tiempo considerable.

La investigación exploratoria ayuda a obtener la comprensión inicial del problema y entender como están constituidos los sistemas que suministran agua potable al cantón: sistema de distribución, redes de distribución, cobertura del líquido vital (zonas y áreas de coberturas), reservas de agua potable, capacidad de tanques de almacenamiento, niveles de llenado, número de acometidas y habitantes por cada red.

La investigación explicativa permite definir cómo influye los coeficientes de consumo máximo horario en el diseño de tanques de reserva, comparar si estas reservas abastecen a la demanda máxima de la población actual y a la población futura proyectada para 15 años, también permitirá brindar recomendaciones para obtener una gestión hídrica más eficiente optimizando el diseño de los tanques de almacenamiento.

A continuación, en la **Figura 3** se detalla de forma sintetizada el proceso a seguir para el desarrollo del presente estudio.

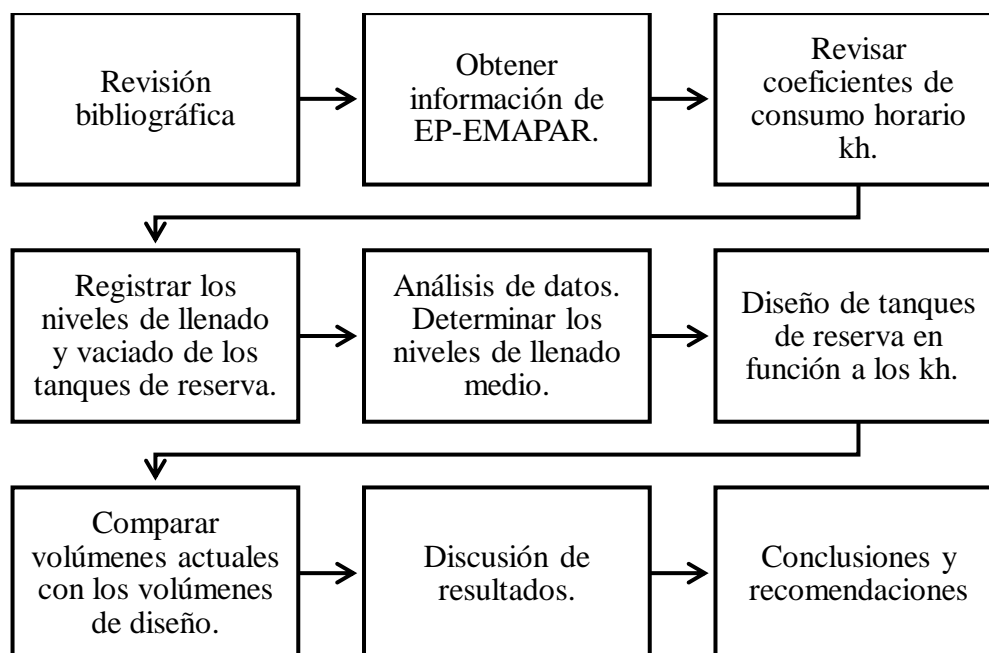


Figura 3. Diagrama de metodología.

Fuente: (Santillán, B 2024).

3.2. Métodos y técnicas de recolección de datos

Para desarrollar este estudio, se ha implementado una estrategia de recolección de datos que incluye el uso de fichas de control operacional.

Para obtener los niveles de llenado de los tanques de almacenamiento de agua potable en el cantón Riobamba, se realizó un seguimiento periódico de los registros diarios de operación de las nueve reservas administradas por la empresa EP EMAPAR, durante un periodo de siete días. Debido a que la EP EMAPAR ya cuenta con una ficha de control operacional estandarizada para todas las reservas, no fue necesario elaborar un instrumento de recolección adicional. En la **Figura 4** se indica la ficha de “control operación de reserva de agua potable”, en donde se registran diferentes parámetros importantes como: porcentaje del nivel de llenado, volumen de almacenamiento y caudales de salida. Es necesario recalcar que el personal operativo a cargo registra los datos de este parámetro cada media hora durante las 24 horas del día, garantizando un monitoreo constante al sistema.


<div>  <div> EP EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO RIOBAMBA DIRECCIÓN TÉCNICA CONTROL OPERACIONAL DE RESERVA DE AGUA POTABLE </div> </div>																									
CENTRO: _____						TANQUE: _____						CAPACIDAD: _____ m3						FECHA: _____							
DETERMINANTE	HORAS																								
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
% DE NIVEL																									
VOLUMEN																									
CAUDAL DE SALIDA																									
ALIMENTACION N-V (ENTRADA)																									
DISTRIBUCIÓN N-V (SALIDA)																									
ALARMA - MÁXIMA																									
ALARMA - MÍNIMA																									
OBSERVACIONES																									
CENTRO: _____						TANQUE: _____						CAPACIDAD: _____ m3						FECHA: _____							
DETERMINANTE	HORAS																								
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
% DE NIVEL																									
VOLUMEN																									
CAUDAL DE SALIDA																									
ALIMENTACION N-V (ENTRADA)																									
DISTRIBUCIÓN N-V (SALIDA)																									
ALARMA - MÁXIMA																									
ALARMA - MÍNIMA																									

Figura 4. Ficha de control operacional de reserva de agua potable

Fuente: EP EMAPAR, (2024)

Para registrar el porcentaje de nivel en el cual se encuentran los tanques de reserva, los operadores visualizan en una regleta que esta impresa en la pared de los tanques, con valores de 0 % a 100 % con intervalos de 5 %. Junto a la regleta se encuentra una manguera transparente que está conectada directamente al tanque y por la presión que ejerce el agua va a indicar el porcentaje de nivel de llenado. En la **Figura 5**, se muestra a la izquierda el tanque de la reserva Saboya y a la derecha el tanque de la reserva El Recreo, con su respectiva marcación para determinar el nivel de llenado. Esta marcación es un factor común en todos los tanques de almacenamiento de las nueve reservas de agua potable del cantón.



Figura 5. Marcación para medir el porcentaje del nivel de llenado.

Fuente: EP EMAPAR, (2024)

3.3. Muestra y Población de estudio

3.3.1. Población

La población de estudio corresponde a las nueve reservas de agua potable con sus respectivas redes de distribución. El número de acometidas y habitantes de cada red de distribución se obtiene del catastro de acometidas de agua potable al mes de agosto 2024 de la EP EMAPAR, que se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Número de acometidas y habitantes de cada red de distribución

N°	Red de distribución de agua potable	Número de usuarios	
		Acometidas	Habitantes
1	Red Maldonado	9734	44703
2	Red Piscín	3112	11653
3	Red Saboya	11892	73242
4	Red El Carmen	6223	30400
5	Red San José de Tapi	4462	14856
6	Red Yaruquíes	1583	7786
7	Red El Recreo	2727	8235
8	Red Tratamiento	1093	5017
9	Red San Martín de Veranillo	5746	30115

Fuente: EP EMAPAR, (2024)

3.3.2. Muestra

La muestra de estudio es toda la población, es decir es el análisis de las nueve reservas de agua potable con sus respectivas redes de distribución, acometidas y habitantes.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Validación de coeficientes de consumo horario (Kh)

3.4.1.1. Procesamiento de datos

Los coeficientes de consumo máximo horario para el cantón Riobamba, se va a obtener de investigaciones previas realizadas por Alulema & Estrada (2023) y Avalos & Oleas (2023). Estos valores son tabulados en una hoja electrónica de Excel, en donde se clasifica los Kh con su respectiva red de distribución.

3.4.1.2. Validación de datos Kh

Es importante verificar y corroborar que los valores de los Kh se encuentren bien calculados, para obtener resultados que reflejen la realidad de la problemática planteada. Para

validar los datos, el promedio de los Kh de cada red de análisis debe ser igual a 1, para asegurar el principio de la conservación de la masa (Pazos, 2020).

3.5. Procesamiento y análisis de datos para determinar los niveles medios de llenado

3.5.1. Procesamiento de datos

Luego de recopilar información sobre los porcentajes de niveles de llenado durante siete días en las nueve reservas del cantón, provenientes de la ficha de “Control Operacional de Reserva de Agua Potable” administrada por la EP EMAPAR, los datos se tabulan en una hoja electrónica de Excel. En esta se clasifican según cada red de abastecimiento, incluyendo el número de tanques, la capacidad de almacenamiento y los registros de los porcentajes de niveles de llenado correspondientes.

3.5.2. Análisis estadístico

Finalizada la tabulación de datos se realiza un análisis estadístico con ayuda del software Minitab 18, se generan gráficas de diagramas de cajas y bigotes para depurar los datos atípicos y encontrar la dispersión estadística: Q1, Q2, Q3, siendo el Q2 la mediana. Esto permite determinar el nivel medio de llenado de cada hora de los tanques de almacenamiento de las nueve reservas de agua potable del cantón. En la **Figura 6**, se muestra el nivel de llenado medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Maldonado, en donde se evidencia que el nivel más alto de llenado se registra a las 5h, mientras que a las 9h y 15h reflejan los niveles más bajos, también se observa a las 23h los tanques presentan niveles altos de almacenamiento. La variación del nivel de llenado medio horario está relacionada con el consumo de la población.

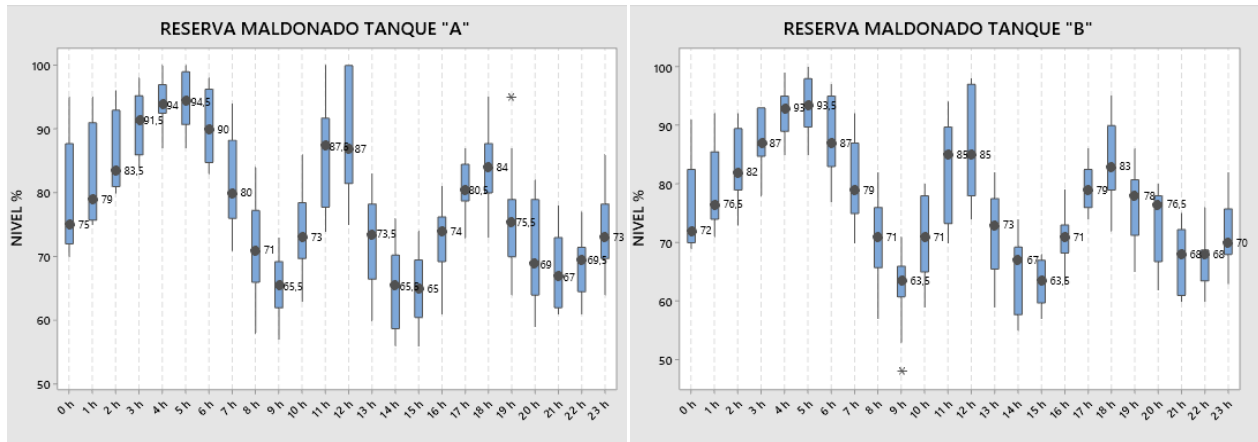


Figura 6. Niveles medios de llenado de la reserva Maldonado.

Fuente: (Santillán, B 2024)

3.6. Diseño del volumen de tanques de almacenamiento

3.6.1. Volumen de regulación (Vr)

El volumen de regulación va a depender del patrón de consumo horario del cantón de estudio, es decir se encuentra en función del coeficiente de variación de consumo horario K_h , que está relacionado directamente con el caudal de salida (OPS, 2005).

3.6.1.1. Caudal medio de la red

Para obtener el caudal medio de la red se emplea la ecuación (1), que se obtiene al multiplicar el caudal medio obtenido de investigaciones realizadas por Alulema & Estrada (2023) y Avalos & Oleas (2023) por el número de acometidas de la red de análisis. Es importante señalar que los valores de caudal medio de las investigaciones previas corresponden a una sola acometida de su respectiva red, por eso hay que considerar el número total de acometidas por cada red de análisis, obtenidas del catastro del mes de agosto 2024 de la EP EMAPAR.

$$Q_{medRed} = Q_{med} * \#Acometidas \quad (1)$$

Donde:

Q_{medRed} = caudal medio de la red.

Q_{med} = caudal medio (investigaciones previas).

#Acometidas = número de acometidas (catastro agosto 2024).

3.6.1.2. Caudal diario de la red

Para obtener el caudal medio diario de la red se emplea la ecuación (2):

$$Q_{diarioRed} = Q_{med} * \#Acometidas * 24h \quad (2)$$

Donde:

$Q_{diarioRed}$ =caudal diario de la red.

Q_{med} = caudal medio (investigaciones previas).

#Acometidas = número de acometidas (catastro agosto 2024).

3.6.1.3. Caudal de entrada

Para determinar el caudal de entrada se emplea la ecuación (3), es la relación entre el caudal diario de la red y el número de horas que ingresa agua al tanque de almacenamiento.

$$Q_{Entrada} = \frac{Q_{diarioRed}}{Horas} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{Entrada}$ = caudal de entrada.

$Q_{diarioRed}$ =caudal diario de la red.

Horas = horas que ingresa agua a los tanques de almacenamiento.

3.6.1.4. Caudal de salida

Para determinar el caudal de salida se emplea la ecuación (4)

$$Q_{Salida} = Q_{medRed} * Kh \quad (4)$$

Donde:

Q_{salida} = caudal de salida.

$Q_{diarioRed}$ = caudal diario de la red.

Kh = coeficiente de consumo máximo horario Kh (obtenido de investigaciones previas).

3.6.1.5. Volumen inicial de regulación

El volumen inicial es el valor del volumen final en cada hora anterior. Es importante recalcar que el volumen contenido en el tanque debe vaciarse en las horas programadas (menor consumo), considerando los niveles mínimos de operatividad. En la ecuación (5), se muestra esta condición:

$$ViRegulación = Vfi - 1 \quad (5)$$

Donde:

ViRegulación = volumen inicial de regulación

Vfi-1= volumen final en cada hora anterior.

3.6.1.6. Volumen final de regulación

Es el volumen de almacenamiento de agua potable de cada hora. Para determinar este valor se emplea la ecuación (6):

$$VfRegulación = ViRegulación + [(QEntrada - QSalida) * \Delta t] \quad (6)$$

Donde:

VfRegulación = volumen final de regulación.

ViRegulación = volumen inicial de regulación.

QEntrada = caudal de entrada.

QSalida =caudal de salida.

Δt = intervalo de tiempo (cada hora).

3.6.1.7. Volumen total de regulación

El volumen total de regulación es la suma del volumen final máximo más el valor absoluto del volumen final mínimo, como se muestra en la ecuación (7):

$$Vregulación = Volumen final máximo + |volumen final mínimo| \quad (7)$$

En la **Figura 4** se muestra el volumen de regulación de la reserva Maldonado, donde se evidencia que existe volúmenes máximos positivos y negativos y la suma de estos volúmenes

representa el volumen de regulación necesario para satisfacer los requerimientos de la población en función del coeficiente de consumo máximo horario.

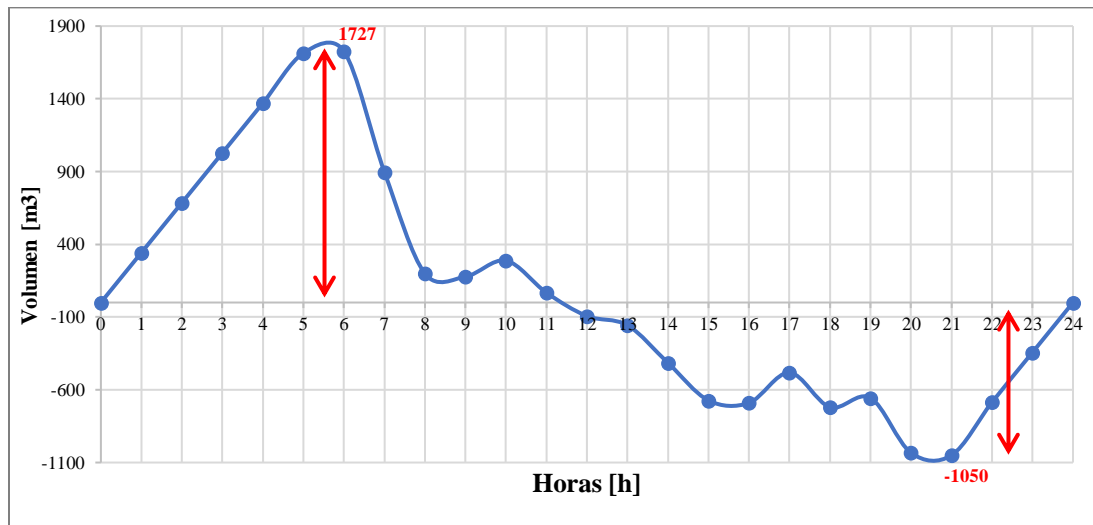


Figura 7. Volumen de regulación, reserva Maldonado

Fuente: (Santillán, B 2024)

3.6.2. Volumen de protección contra Incendios (V_i)

La norma INEN CPE5, (1992) recalca que el volumen para la protección contra incendios está directamente relacionado con el número de habitantes de la red de análisis. A continuación, en las ecuaciones (8), (9), (10) y (11), se indican los criterios a considerar para establecer este valor:

$$\text{Sierra} < 5000 \text{ habitantes.} \quad V_i = 0 \quad (8)$$

$$\text{Costa} < 3000 \text{ habitantes.} \quad V_i = 0 \quad (9)$$

$$\text{Población} \leq 20000 \text{ habitantes.} \quad V_i = 50 * \sqrt{p} \quad (10)$$

$$\text{Población} > 20000 \text{ habitantes.} \quad V_i = 100 * \sqrt{p} \quad (11)$$

Donde:

V_i = volumen de protección contra incendios.

p = población (en miles de habitantes).

3.6.3. Volumen de Emergencia (V_e)

La norma INEN CPE5, (1992) recalca que el volumen para cubrir emergencias está directamente relacionado con el número de habitantes de la red de análisis. A continuación, en las ecuaciones (12) y (13), se indican los criterios a considerar para establecer este valor:

$$> 5000 \text{ habitantes. } V_e = 25\% * V_r \quad (12)$$

$$< 5000 \text{ habitantes. } V_e = 0 \quad (13)$$

Donde:

V_e = volumen de emergencia.

V_r = volumen de regulación.

3.6.4. Volumen total

Para determinar el volumen total de almacenamiento, se emplea la ecuación (14):

$$Volumen\ Total = V_r + V_i + V_e \quad (14)$$

Donde:

V_r = volumen de regulación.

V_i = volumen de protección contra incendios.

V_e = volumen de emergencia.

3.7. Población futura

El plan maestro de agua potable y alcantarillado del cantón Riobamba, está diseñada para una vida útil estimada de 25 – 30 años. Considerando que han transcurrido 10 años desde su implementación, se va a realizar un estudio de proyección a 15 años para evaluar si la capacidad de las reservas de agua potable del cantón, satisface la demanda proyectada en este periodo de diseño.

Para realizar el cálculo de población futura y la tasa de crecimiento poblacional, se va a emplear los métodos que indica la norma INEN CPE5, (1992) los cuales son: aritmético,

geométrico y exponencial. Los datos históricos de acometidas y población de cada red de distribución se van a obtener de los registros históricos de la EP EMAPAR.

3.7.1. Método aritmético

Es un método de crecimiento constante, es decir que la misma cantidad de habitantes va aumentando cada año. Para obtener este valor se emplea la ecuación (15).

$$Pf = Pa(1 + i * n) \quad (15)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = años de proyección (periodo de diseño)

Para obtener la tasa de crecimiento poblacional de este método se aplica la ecuación (16), que se la obtiene al despejar i de la ecuación (15).

$$i = \frac{\frac{Pf}{Pa} - 1}{n} \quad (16)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = periodo de tiempo

3.7.2. Método geométrico

El crecimiento poblacional está relacionado directamente con su tamaño. Para realizar este método se emplea la ecuación (17):

$$Pf = Pa (1 + i)^n \quad (17)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = años de proyección (periodo de diseño)

Para obtener la tasa de crecimiento poblacional de este método se aplica la ecuación (18), que se la obtiene al despejar i de la ecuación (17).

$$i = \left(\frac{Pf}{Pa} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (18)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = periodo de tiempo

3.7.3. Método exponencial

La población crece continuamente a una tasa constante. Para emplear este método se ocupa la ecuación (19):

$$Pf = Pa * e^{i*n} \quad (19)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = años de proyección (periodo de diseño)

Para obtener la tasa de crecimiento poblacional de este método se aplica la ecuación (20), que se la obtiene al despejar i de la ecuación (19).

$$i = \frac{\ln\left(\frac{Pf}{Pa}\right)}{n} \quad (20)$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento

n = periodo de tiempo

A partir de los índices de crecimiento determinados para las nueve redes de distribución, se realizan proyecciones a 15 años tanto de las acometidas y habitantes de su respectiva red de estudio.

En la **Tabla 4**, se muestra de forma detallada la tasa de crecimiento y los resultados de las proyecciones a 15 años para las acometidas de agua potable de cada una de las redes de distribución del cantón de estudio.

Tabla 4.

Proyección de acometidas a 15 años de la red Maldonado.

Red	Tasa de crecimiento %	Método Aritmético [acometidas]	Método Geométrico [Acometidas]	Método Exponencial [Acometidas]
Maldonado	1.83%	12406	12777	7263
Piscín	3.14%	4578	4948	3984
Saboya	1.95%	15370	15888	9455
El Carmen	3.07%	9089	9795	7790
San José de Tapi	3.35%	6704	7315	6095
Yaruquies	3.39%	2388	2610	2188
Recreo	3.76%	4266	4746	4184
Tratamiento	4.03%	1754	1977	1796
San Martín de Veranillo	2.10%	7556	7848	4920

Fuente: (Santillán, B 2024)

En la **Tabla 5**, se muestra de forma detallada la tasa de crecimiento y los resultados de las proyecciones a 15 años para los habitantes de cada red de estudio.

Tabla 5.

Proyección de habitantes a 15 años de la red Maldonado.

Red	Tasa de crecimiento %	Método Aritmético [Habitantes]	Método Geométrico [Habitantes]	Método Exponencial [Habitantes]
Maldonado	1.80%	56773	58419	32809
Piscín	3.07%	17019	18341	14587
Saboya	1.93%	94446	97564	57637
El Carmen	3.14%	44718	48337	38921
San José de Tapi	2.98%	21497	23078	18051
Yaruquies	3.37%	11722	12801	10699
Recreo	4.06%	13245	14950	13618
Tratamiento	4.00%	8027	9035	8183
San Martín de Veranillo	2.11%	39646	41191	25909

Fuente: (Santillán, B 2024)

Para seleccionar el modelo de proyección más adecuado, se compararon los resultados obtenidos al aplicar los métodos de proyección que recomienda la norma INEN CPE5, (1992): aritmético, geométrico y exponencial. El análisis estadístico evidencia que el modelo de proyección geométrico demostró mayor capacidad predictiva para estimar la cantidad futura de acometidas y poblaciones futuras, ya que se ajusta de forma más adecuada a los datos históricos. Por lo tanto, los valores obtenidos por este método serán utilizados para el diseño de volúmenes de protección contra incendios y volúmenes de emergencia proyectados a 15 años.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Niveles de llenado de los tanques de reservas de agua potable

Luego de la recopilación de datos de niveles de llenado, procesamiento de información y análisis estadístico. Los resultados obtenidos permiten identificar los niveles medios de almacenamiento de cada reserva de agua potable del cantón.

4.1.1. Reserva Maldonado

En la **Figura 8**, se muestra la variación horaria del nivel de llenado medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Maldonado, en donde se evidencia que a las 5h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto, mientras que a las 9h00 y 15h00 registran los niveles más bajos. La variación de los niveles de llenado medio horario está estrechamente relacionada con el coeficiente de modulación horaria, los valores más altos del Kh para la red Maldonado registran a las 7h00 y 8h00 con un valor de 2.99 y 2.65 respectivamente y si contrastamos con los niveles de llenado medio se evidencia que en las horas de mayor consumo el nivel de llenado medio disminuye considerablemente. A las 23h00 la red registra un valor mínimo de Kh de 0.19 y el nivel de llenado de cada tanque es de 73% y 70% que equivale a una capacidad de almacenamiento de 3575 m³, evidentemente esto refleja que al terminar el día hay un volumen residual considerable, que pueden ser distribuidas a las redes que presentan déficit de agua potable.

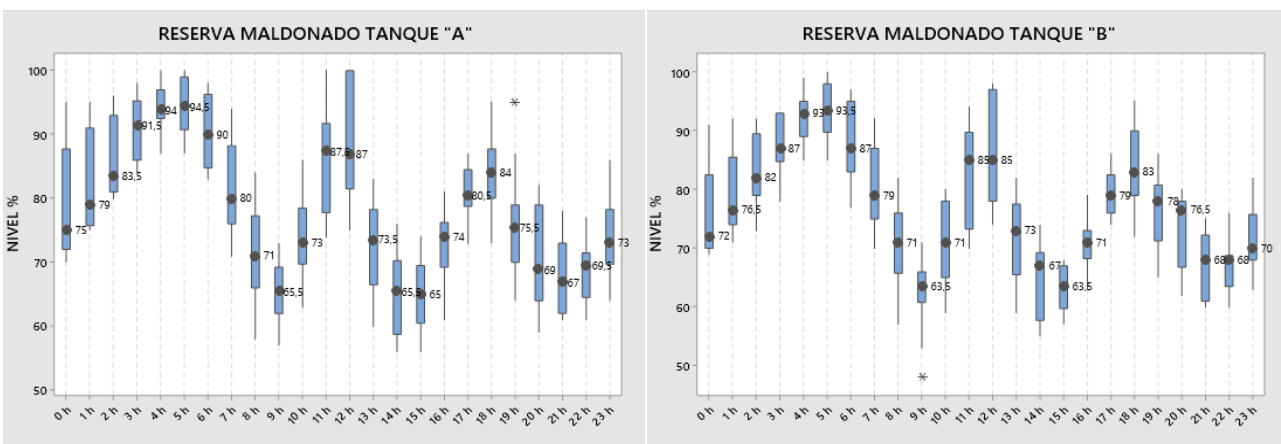


Figura 8. Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Maldonado.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.2. Reserva Piscín

En la **Figura 9**, se muestra la variación horaria del nivel de llenado medio del tanque de almacenamiento de la reserva Piscín, en donde se observa que el nivel medio de llenado más alto se produce a las 9h00 con un valor del 75%, mientras que el nivel de llenado medio más bajo es a las 21h00 y 22h00 con un valor del 51%. La variación de los niveles de llenado medio horario está estrechamente relacionada con patrón de consumo de agua potable del cantón, el valor más alto del Kh para la red Piscín se registra a las 7h00 con un valor de 2.61, que no se encuentra dentro de los parámetros que establece la norma INEN CPE5, (1992) y si contrastamos con los niveles de llenado medio se observa que en la hora de mayor consumo el nivel de llenado medio disminuye considerablemente. También se visualiza que a las 23h00 el tanque de almacenamiento registra un nivel de llenado medio del 54% que equivale a 1080 m³ de capacidad, mientras que su Kh es de 0.19.

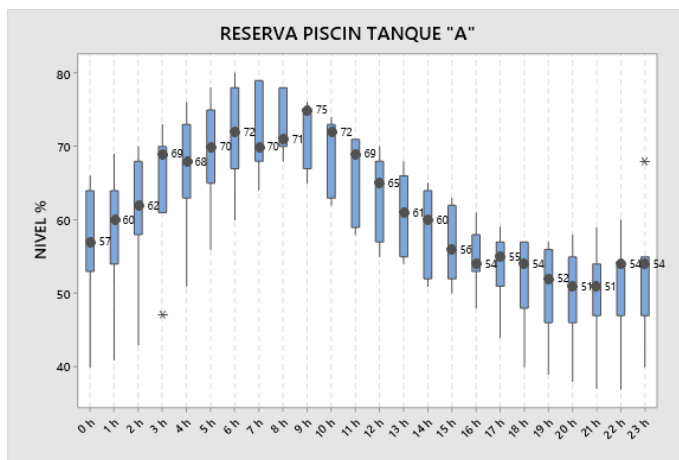


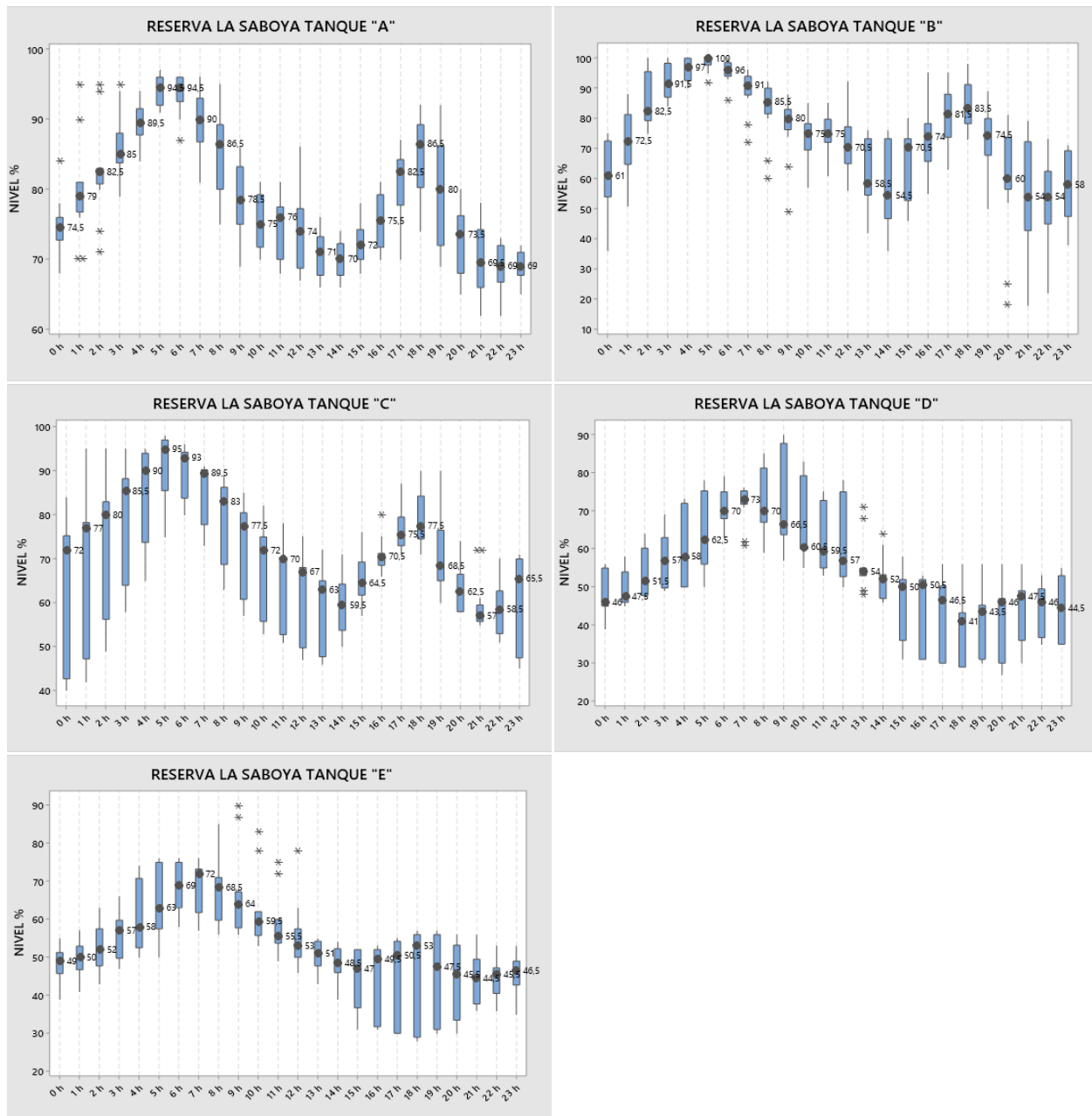
Figura 9. Nivel medio del tanque de almacenamiento de la reserva Piscín.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.3. Reserva Saboya

En la **Figura 10**, se observa la variación horaria del nivel de llenado medio de los tanques de almacenamiento de la reserva Saboya, en donde se muestra que entre las 5h00 a 7h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto, mientras que de 21h00 a 23h00 registran los niveles más bajos. El valor más alto del Kh para esta red es de 2.96 registrado a las 7h00, este valor se ubica por encima de los rangos que establece la norma INEN CPE5, (1992) en consecuencia, a partir de la hora de mayor consumo el nivel medio empieza a disminuir considerablemente. A las 23h00 la

red registra un valor mínimo de Kh de 0.19 y el nivel de llenado de los tanques van desde 44% hasta el 69% que equivale a una capacidad de almacenamiento de 3740 m³. Apparently the tanks “D” and “E” have lower filling levels in comparison to the tanks “A”, “B”, “C”, but you have to take into consideration that these tanks have double capacity, which allows for similar volumes.



4.1.4. Reserva El Carmen

En la **Figura 11**, se muestra la variación horaria del nivel de llenado medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Carmen, en donde se indica que a las 5h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto, mientras que el nivel de llenado mínimo parece ser constante y no disminuye del 79% de capacidad. La variación de los niveles de llenado medio horario está relacionado al patrón de consumo de agua potable, el valor más alto del Kh para la red El Carmen registra a las 9h00 con un valor de 2.99 que no se encuentra dentro de los rangos que recomienda la norma INEN CPE5, (1992). Si comparamos los niveles de llenado medio se observa que a partir de la hora de mayor consumo el nivel de llenado medio empieza a disminuir. A las 23h00 la red registra un valor de Kh de 0.61 y el nivel de llenado de cada tanque es de 88% y 83% que equivale a una capacidad de almacenamiento de 2980 m³.

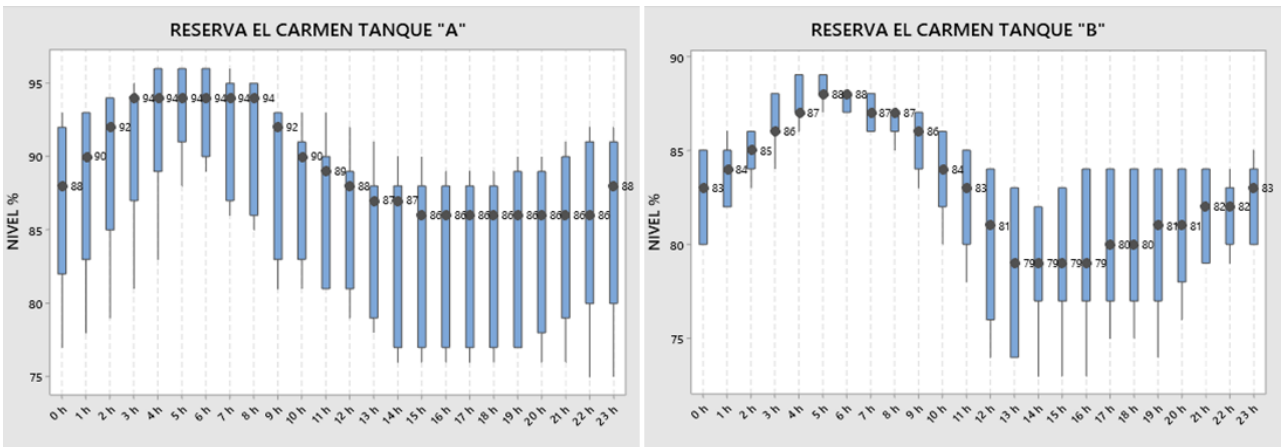


Figura 11. Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Carmen

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.5. Reserva San José de Tapi

En la **Figura 12**, se muestra la variación horaria del nivel de llenado medio del tanque de almacenamiento de la reserva San José de Tapi, en donde se observa que el nivel medio de llenado más alto es a las 5h00 con un valor del 100% y el nivel medio más bajo registra a las 20h00 con un valor del 67%. Los coeficientes de consumo máximo horario Kh más altos para la red San José de Tapi es a las 7h00, 8h00 y 9h00 con un valor de 2.56, 2.47 y 3.52 respectivamente, estos valores no se encuentran dentro de los parámetros que indica la norma INEN CPE5, (1992) y si

contrastamos con los niveles de llenado medio se muestra que a partir de las horas de mayor consumo el nivel de llenado medio empieza a disminuir.

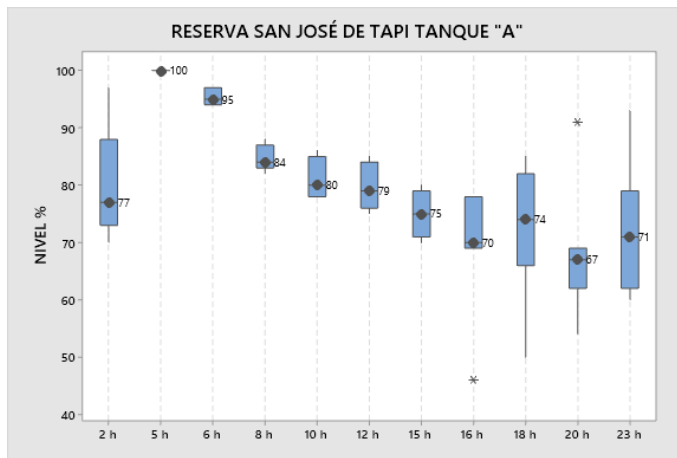


Figura 12. Nivel medio del tanque de almacenamiento de la Reserva San José de Tapi.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.6. Reserva Yaruquies

En la **Figura 13**, se muestra la variación horaria del nivel de llenado medio del tanque de almacenamiento de la reserva Yaruquies, en donde se muestra que a las 5h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto equivalente al 90%, mientras que a las 18h00 registra el nivel más bajo equivalente al 72%. La variación de los niveles de llenado medio horario está estrechamente relacionada con el coeficiente de modulación horaria, el valor más alto del Kh para la red Yaruquies se registra a las 7h00 con un valor de 2.43, que se encuentran fuera del rango que indica la norma INEN CPE5, (1992) y si contrastamos con los niveles de llenado medio se demuestra que a partir de la hora de mayor consumo el nivel de llenado medio empieza a disminuir. A las 23h00 la red registra un valor mínimo de Kh de 0.19 y el nivel de llenado del tanque es de 75% que equivale a una capacidad de almacenamiento de 750 m³, este volumen residual puede ser redirigido a las redes de distribución que presentan déficit o escasez de agua potable.

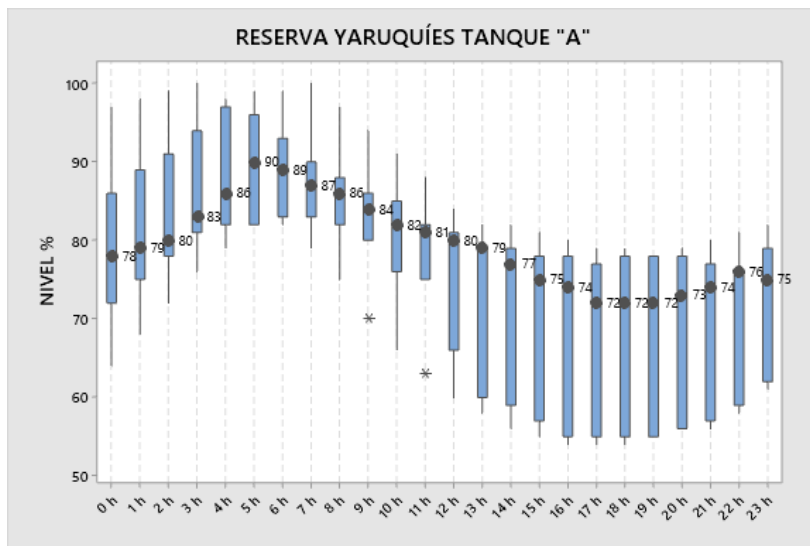


Figura 13. Nivel medio del tanque de almacenamiento de la reserva Yaruquíes.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.7. Reserva El Recreo

En la **Figura 14**, se indica la variación horaria del nivel de llenado medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Recreo, en donde se evidencia que entre 5h00 y 9h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto, mientras que a las 17h00 registra el nivel de llenado mínimo en uno de los tanques y en los 2 tanques restantes no disminuyen del 56%. La variación de los niveles de llenado medio horario está estrechamente relacionada con el coeficiente de modulación horaria, el valor más alto del K_h para la red El Recreo registra a las 12h00 con un valor de 1.74 que se encuentra dentro de los parámetros que recomienda la norma INEN CPE5, (1992). Si contrastamos con los niveles de llenado medio se evidencia que hay un nivel de llenado medio superior al 50% de la capacidad total de la reserva.

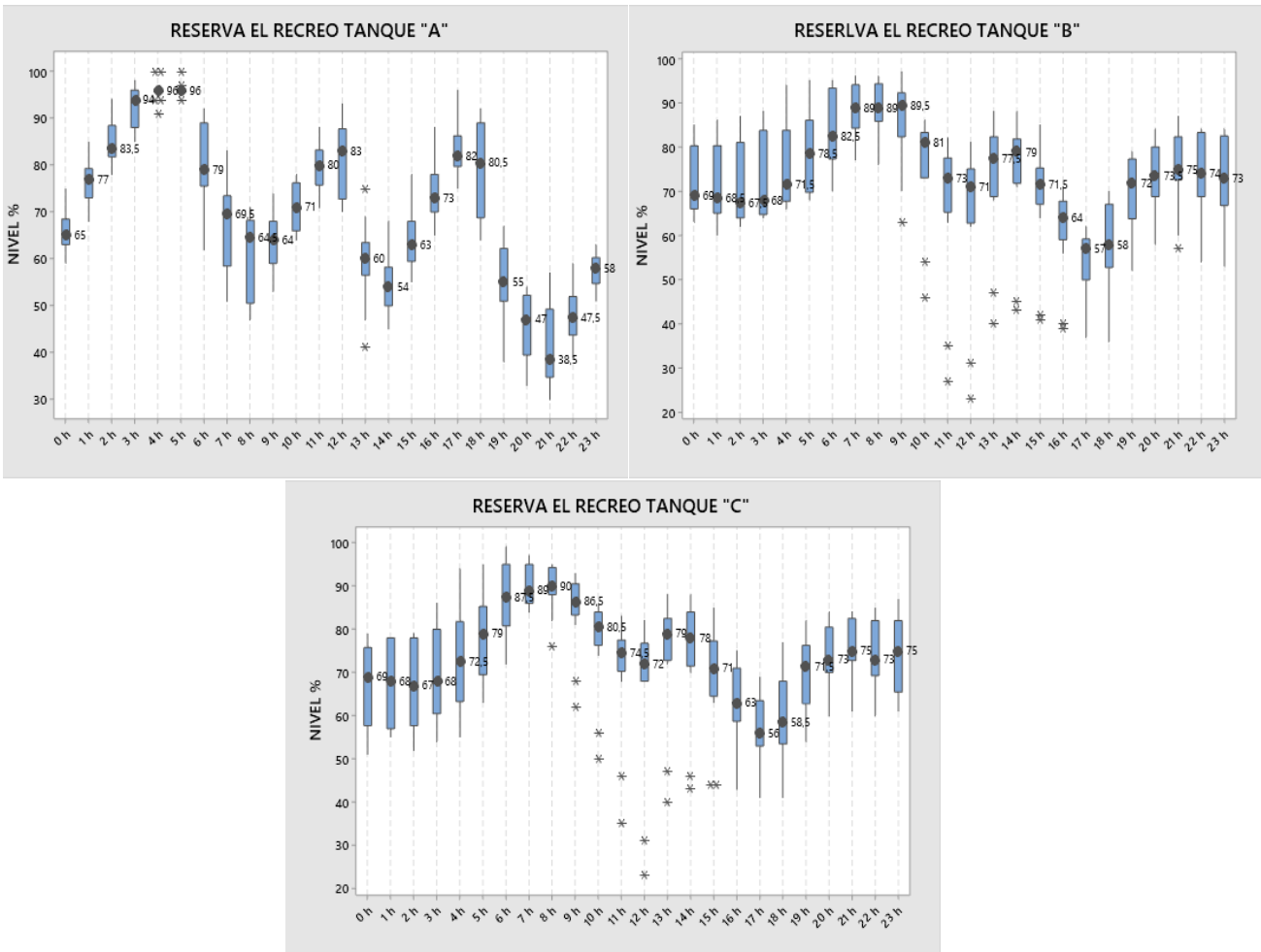


Figura 14. Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Recreo.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.8. Reserva Tratamiento

En la **Figura 15**, se visualiza la variación horaria del nivel de llenado medio del tanque de almacenamiento de la reserva Tratamiento, en donde se demuestra que a las 6h00 alcanza el nivel de llenado medio más alto con un valor aproximado de 99%, mientras que a las 14h00 registra el nivel más bajo con un valor aproximado del 80%. El valor más alto del coeficiente de consumo máximo horario es de 2.16 a las 6h00, que evidentemente se encuentra dentro del rango que indica la norma INEN CPE5, (1992). También se observa que partir de la hora de mayor consumo el nivel de llenado medio empieza a disminuir considerablemente. A las 23h00 la red registra un valor mínimo de Kh de 0.19 y el nivel de llenado del tanque es de 89% que equivale a una capacidad de almacenamiento de 890 m³. Esta reserva presenta niveles de llenado elevados, que a

través de una gestión hídrica eficiente permitirá extender la cobertura del servicio de agua potable a las zonas actualmente desabastecidas.

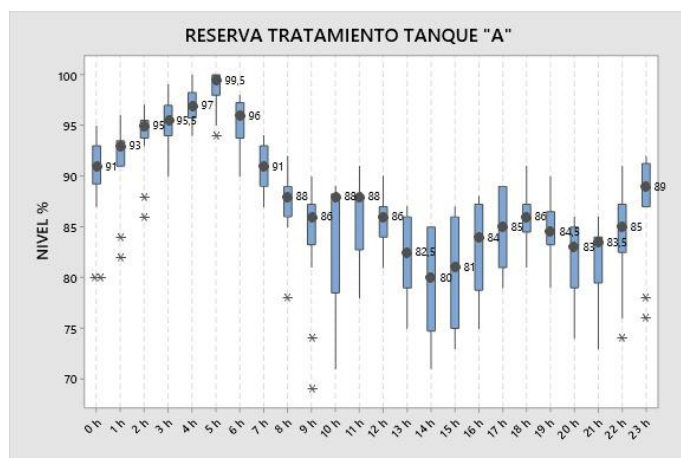


Figura 15. Nivel medio de los tanques de almacenamiento de la reserva El Recreo.

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.1.9. Reserva San Martín de Veranillo

La reserva San Martín de veranillo actualmente no está en funcionamiento, ya que se encuentra en la fase final para empezar a operar con normalidad, razón por la cual no se cuenta con registros de niveles de llenado y no se puede establecer un valor de llenado medio aproximado.

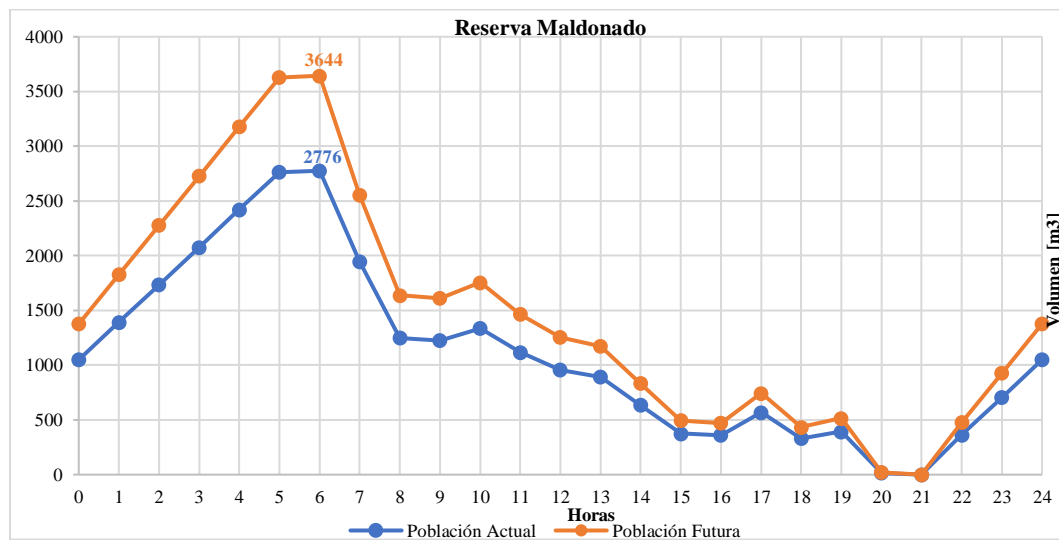
4.2. Diseño de volúmenes de reserva

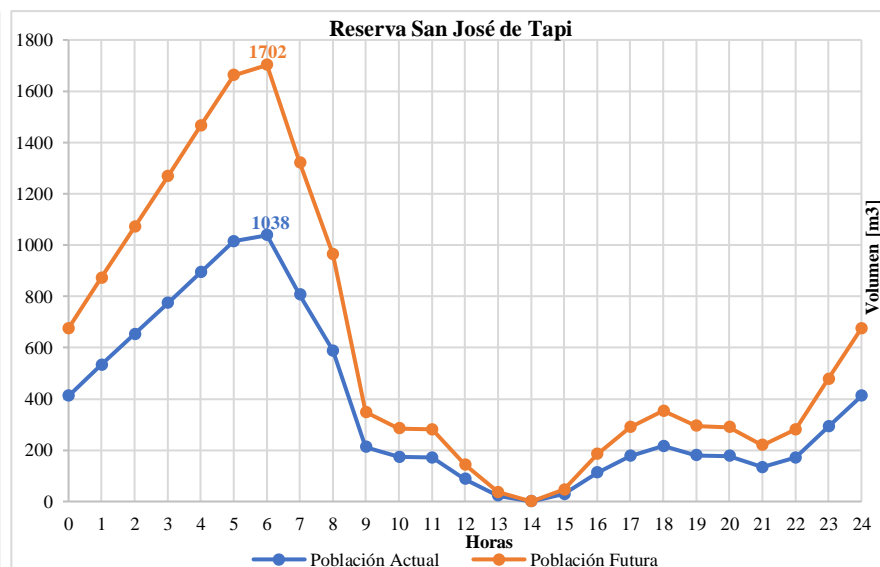
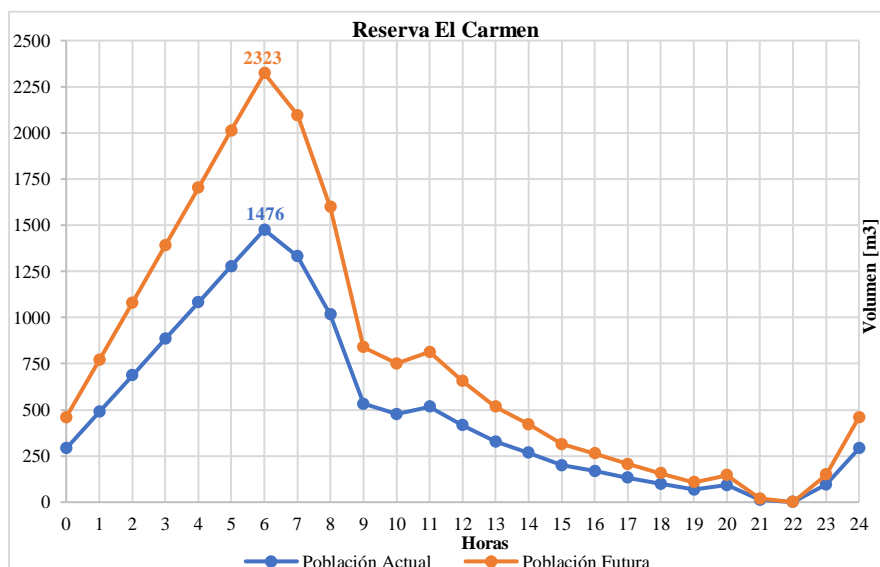
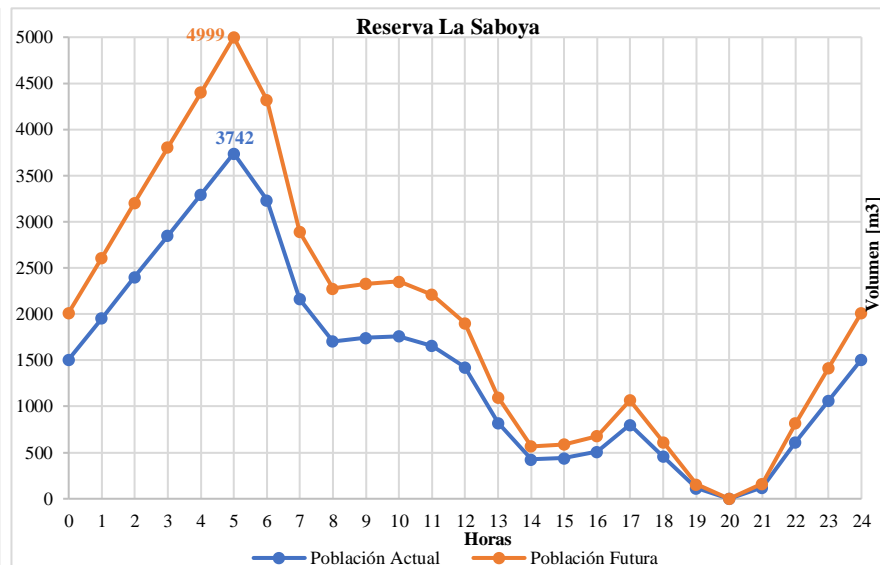
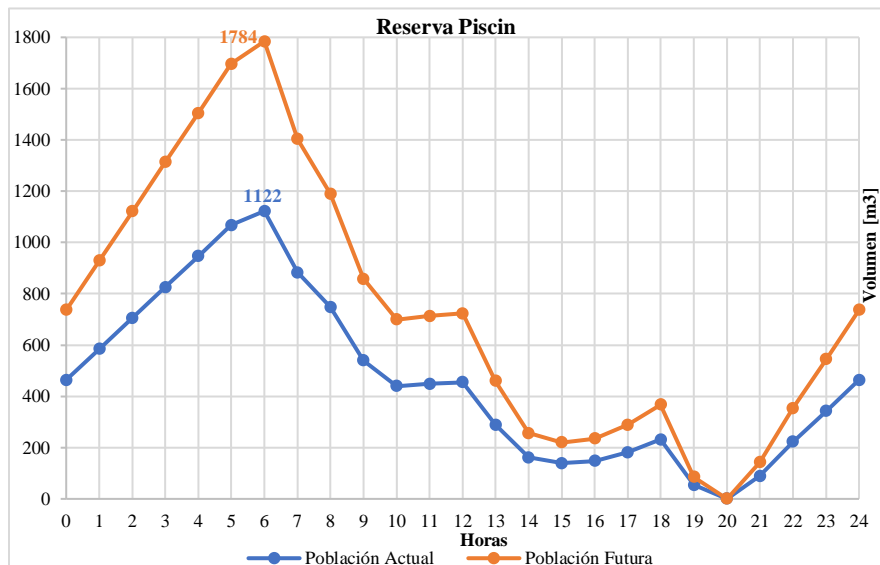
Se ha realizado el diseño del volumen de almacenamiento de agua potable para el cantón Riobamba, considerando los coeficientes de consumo máximo horario de las nueve redes de distribución. Los cálculos para dimensionar el volumen de almacenamiento se basaron en la norma INEN CPE5, (1992), considerando los datos actualizados del catastro de acometidas de agua potable al mes de agosto 2024 y proyectando los usuarios a 15 años mediante los métodos: aritmético, geométrico y exponencial.

4.2.1. Volumen de regulación

En la **Figura 16** se muestra el volumen de regulación para las nueve reservas del cantón Riobamba. Las curvas de color azul representan el volumen de regulación necesario en función a las acometidas existentes en la actualidad, mientras que las curvas que se encuentran de color

naranja representan el volumen de regulación necesario en función a las acometidas proyectadas a 15 años.





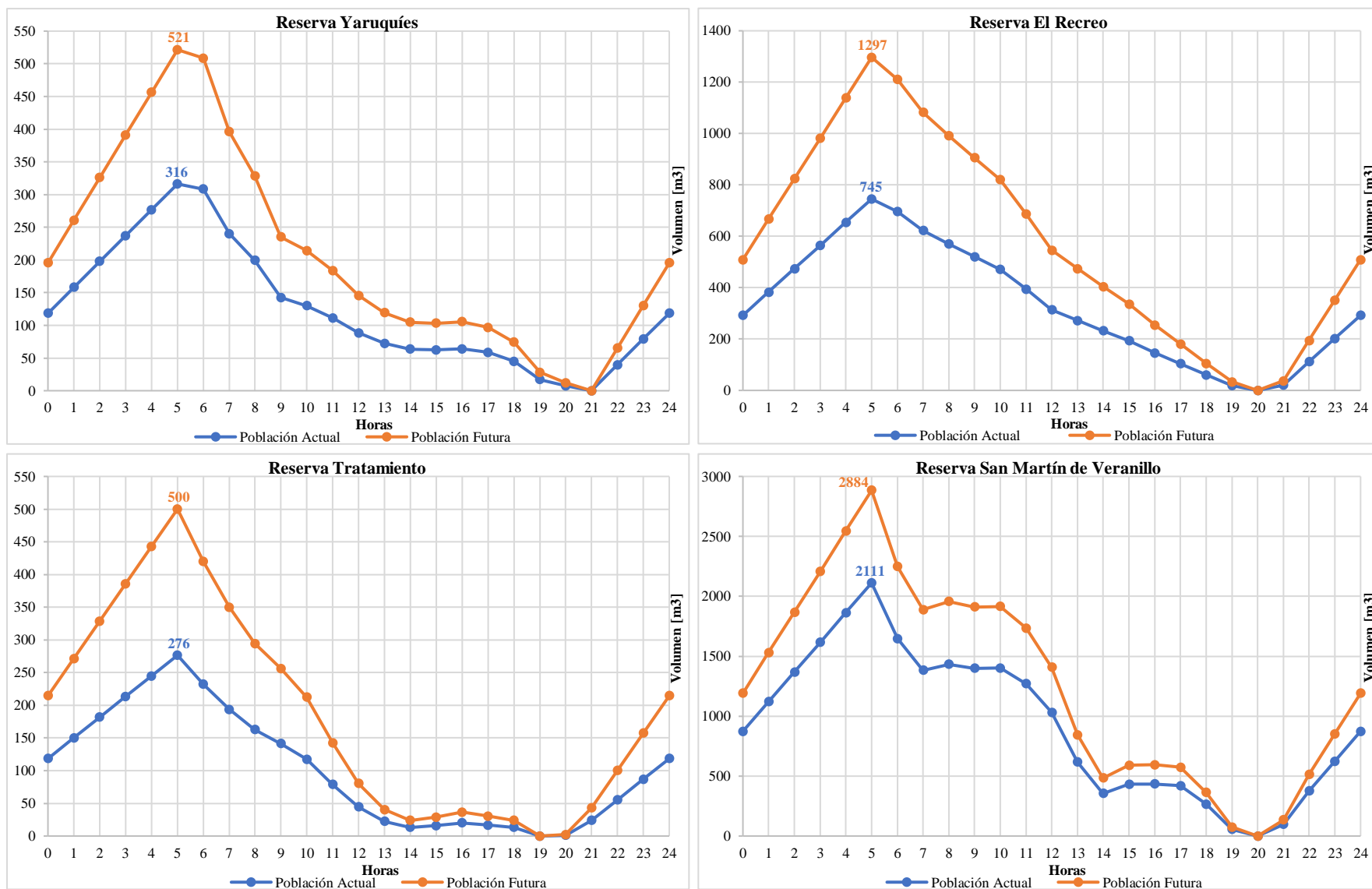


Figura 16. Volúmenes de regulación para las nueve reservas de agua potable del cantón Riobamba.

Fuente: (Santillán, B 2024

4.2.2. Volúmenes de protección contra incendios y volúmenes de emergencia.

Tabla 6.

Volumen contra incendios y volumen de emergencia (Población Actual).

Reserva	Población [Habitantes]	Volumen contra incendios [m3]	Volumen de emergencia [m3]
Maldonado	44703	669	694
Piscín	11653	171	281
Saboya	73242	856	936
El Carmen	30400	551	369
San José de Tapi	14856	193	260
Yaruquies	7786	140	79
Recreo	8235	143	186
Tratamiento	5017	112	69
San Martín de Veranillo	30115	549	528

Fuente: (Santillán, B 2024).

Tabla 7.

Volumen contra incendios y volumen de emergencia (Población Futura).

Reserva	Población Futura [Habitantes]	Volumen contra incendios [m3]	Volumen de emergencia [m3]
Maldonado	58419	764	911
Piscín	18341	214	446
Saboya	97564	988	1250
El Carmen	48337	695	581
San José de Tapi	23078	480	425
Yaruquies	12801	179	130
Recreo	14950	193	324
Tratamiento	9035	150	125
San Martín de Veranillo	41191	642	721

Fuente: (Santillán, B 2024)

4.2.3. Volumen total de almacenamiento

En la **Tabla 8** se indica el volumen total de almacenamiento diseñado para cada red de análisis, que resulta de la suma del volumen de regulación, volumen de protección contra incendios y volumen de emergencia.

Tabla 8.

Volumen de almacenamiento total diseñado para cada red

Reserva	Volumen total de diseño actual [m3]	Volumen total de diseño futuro [m3]
Maldonado	4139	5319
Piscín	1574	2444
Saboya	5534	7237
El Carmen	2396	3599
San José de Tapi	1491	2607
Yaruquies	535	830
Recreo	1074	1814
Tratamiento	457	775
San Martín de Veranillo	3188	4247

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.2.4. Análisis de diferencia entre volúmenes calculados vs existentes.

En la **Tabla 9** se indica el volumen actual de almacenamiento disponible en cada reserva y los volúmenes diseñados en función del consumo máximo horario K_h para la población actual y la población futura proyectada a 15 años del cantón Riobamba. Si bien se evidencia que no existe desabastecimiento de agua potable para la población actual, es importante resaltar que la reserva San Martín de Veranillo aún no se encuentra en funcionamiento. Por lo tanto, la reserva Maldonado es la encargada de suministrar agua a esta red de distribución, pero evidentemente no tiene la capacidad necesaria para cubrir la demanda de la población actual de estas dos redes de distribución, generando desabastecimiento en la red Maldonado y San Martín de Veranillo.

También se muestra que 7 de las 9 reservas no dispondrán de la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de la población en el año 2039.

Tabla 9.

Volúmenes de diseño vs volúmenes existentes en el cantón Riobamba

Reserva	Volumen existente [m3]	Volumen actual de diseño Kh [m3]	Cumple [Si/No]	Volumen futuro de diseño Kh [m3]	Cumple [Si/No]
Maldonado	5000	4139	SI	5319	NO
Piscín	2000	1574	SI	2444	NO
Saboya	7000	5534	SI	7237	NO
El Carmen	3500	2396	SI	3599	NO
San José de Tapi	2000	1491	SI	2607	NO
Yaruquies	1000	535	SI	830	SI
Recreo	1500	1074	SI	1814	NO
Tratamiento	1000	457	SI	775	SI
San Martín de Veranillo	4000	3188	SI	4247	NO

Fuente: (Santillán, B 2024).

4.3. Recomendaciones para el diseño de tanques de Reserva en función a los Kh

4.3.1. Dimensiones del tanque de almacenamiento

– Hay que tener en consideración futuras expansiones urbanística e industriales de los planes regionales o nacionales de desarrollo, no se deberá proyectar para periodos menores a 15 años (INEN CPE5, 1992).

– El volumen de regulación se determinará en función a un análisis previo de las variaciones horarias de consumo Kh, que reflejan la fluctuación de la demanda del líquido vital en el transcurso del día (INEN CPE5, 1992).

– Considerar volúmenes de protección contra incendios y volúmenes de emergencia que van a depender del número de habitantes de la zona de estudio (INEN CPE5, 1992).

– Se recomienda que los volúmenes de los tanques de reserva se diseñen en lo posible disminuyendo al máximo el número de horas de bombeo del caudal de ingreso, de tal manera se va a obtener tanques de almacenamiento de mayor capacidad. Esto va a permitir conseguir las siguientes ventajas:

Ahorro energético: si se reduce el tiempo de operación de las bombas eléctricas, también se disminuye considerablemente este costo de operación. En la actualidad el país enfrenta una crisis de energía eléctrica muy severa, en la cual se han tomado medidas para racionalizar la energía (Reyes, 2024). En tal virtud no es recomendable que los diseños se realicen para que el caudal de ingreso sea las 24 horas si utilizan bombas eléctricas porque puede producir desabastecimiento en el caudal de ingreso.

Alargar la vida útil de las bombas eléctricas: el uso excesivo de bombas eléctricas acorta su vida útil, debido al desgaste acelerado de los diferentes componentes mecánicos como: motores, sellos, piezas móviles entre otras (Morales & Magaña, 2008).

Disminuye el impacto ambiental: al disminuir el tiempo de operación de las bombas eléctricas va ayudar a reducir la huella de carbono, provenientes de fuentes generadoras de electricidad no renovables como las termoeléctricas (Reyna et al., 2017).

Disminuye la contaminación acústica: el uso bombas electicas genera ruido y vibraciones que causan malestar a las personas que se encuentran alrededor. Al reducir el tiempo de operación, también se reduce este efecto negativo (Reyna et al., 2017).

– Establecer los niveles óptimos de operación, es decir los niveles mínimos y máximos para asegurar que siempre haya suministro en las horas de mayor consumo, también garantizar que las presiones piezométricas lleguen a las cotas más altas (Agüero, 1997).

– Implementar un sistema de monitoreo y de control automatizado para que se ajuste al nivel de llenado óptimo dependiendo de la variación de consumo, evitando así que el agua rebose en las horas donde la demanda sea mínima o haya desabastecimiento (Pérez et al., 2017).

– La OMS (2019) recomienda realizar programas de mantenimiento preventivo, especialmente en las horas de baja demanda para así evitar interrupciones en el servicio del suministro. Los tanques de almacenamiento son susceptibles a acumular impurezas, partículas en suspensión y otros elementos, la mayor parte de estas impurezas llegan a sedimentarse y con el transcurso del tiempo se convierten en capas gruesas de lodo que van a contaminar el agua que ingresa. Las actividades más importantes a realizar son:

Inspecciones regulares: identificar grietas en los elementos estructurales o paredes, fugas en tuberías, corrosión u óxido en válvulas, acumulación de sedimentos (CARE, 2012).

Limpieza y desinfección: se recomienda realizar cada 3 meses si se observa grandes cantidades de sedimentos en el interior se debe realizar con más frecuencia (NTC 4576, 1999).

Mantenimiento de válvulas y accesorios: realizar mantenimientos e inspecciones a las válvulas que se encuentren en el sistema de ingreso y salida del tanque para garantizar que todas las válvulas estén funcionando correctamente, es decir se cierren completamente o se abran a su máxima capacidad (CARE, 2012).

Capacitación al personal: es importante contar con personal capacitado tanto para el mantenimiento y operación de los tanques de almacenamiento.

4.4. Discusión

La red de distribución Maldonado requiere un volumen total de reserva de 4139 m³, mientras que la capacidad total de almacenamiento es de 5000 m³, en tal virtud esta reserva sí satisface la demanda de la población actual. Pero hay que considerar que actualmente también abastece a la red de distribución San Martín de Veranillo, la cual requiere un volumen de reserva de 3188 m³. Esta situación genera un déficit de agua potable en ambas redes de distribución,

evidenciando que la reserva Maldonado no está en la capacidad para cubrir simultáneamente la demanda de estas dos redes de distribución.

Los resultados obtenidos indican que el cantón Riobamba no enfrentará problemas de desabastecimiento de agua potable en la actualidad, cuando la reserva San Martín de Veranillo entre en funcionamiento. Con una capacidad de almacenamiento de 4000 m^3 , esta reserva supera ampliamente el volumen requerido para cubrir la demanda de su red que es de 3188 m^3 . La implementación de esta reserva permitirá optimizar significativamente la distribución de agua potable, ya que cada red contará con un suministro autónomo de abastecimiento, disminuyendo así el riesgo de déficit de agua potable en el cantón.

En el cantón Riobamba, las redes de distribución Maldonado, Piscín, Saboya, El Carmen, San José de Tapi, Yaruquíes, El Recreo, Tratamiento y San Martín de Veranillo requieren un volumen de almacenamiento de: 4139 m^3 , 1574 m^3 , 5534 m^3 , 2396 m^3 , 1491 m^3 , 535 m^3 , 1074 m^3 , 457 m^3 y 3188 m^3 , respectivamente, mientras que la capacidad de almacenamiento disponible en las reservas existentes del cantón es de: 5000 m^3 , 2000 m^3 , 7000 m^3 , 3500 m^3 , 2000 m^3 , 1000 m^3 , 1500 m^3 , 1000 m^3 y 4000 m^3 .

Según el estudio de Chuquín et al. (2018), en donde desarrollaron un modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba, empleando EPANET. Confirman la importancia de las reservas de agua potable para garantizar un suministro continuo a las redes de distribución. También exponen que las tuberías sobredimensionadas presentan velocidades por debajo de los 0.10 m/s , aumento de pérdidas totales de carga y generan desabastecimiento en las cotas más altas, evidentemente las reservas por sí solas no son suficientes para solucionar los problemas de presión y velocidad, es necesario complementar con otras medidas correctivas, como la optimización de la red (reducción de diámetros en tuberías sobredimensionadas, eliminar ramales inoperativos), control de presiones (instalación de válvulas reductoras de presión, automatizar el sistema que se ajusten a las presiones necesarias).

Los resultados obtenidos evidencian una notable diferencia entre la capacidad de almacenamiento y los volúmenes de regulación necesario para las redes de distribución de Yaruquíes y Tratamiento que es de 535 m^3 y 457 m^3 respectivamente. Esta situación está asociada directamente a un número reducido de acometidas en ambas zonas, lo que indica también una baja densidad de habitantes. Adicionalmente, los coeficientes de consumo máximo horario son

relativamente pequeños y se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma INEN CPE5, (1992) a excepción de la red Yaruquíes que registra solo un valor fuera de este rango a las 7h00 de 2.4. El análisis comparativo entre la red Yaruquíes y Tratamiento con las otras siete redes del cantón revela una clara tendencia: mayor número de acometidas presentan mayores volúmenes de regulación. Esto recalca que los factores socioculturales, fuentes económicas y demografías influyen en el dimensionamiento de volúmenes de regulación, ya que los Kh de las otras redes son altas y sobrepasan los parámetros establecidos por la norma, obteniendo así grandes volúmenes de regulación.

El plan maestro de agua potable y alcantarillado de Riobamba empezó en el año 2012, el objetivo del proyecto es garantizar un suministro continuo de agua potable las 24 horas del día a largo plazo (25 – 30 años). Sin embargo, los resultados de las proyecciones realizadas muestran un escenario preocupante para el año 2039, donde se proyecta desabastecimiento en 7 de las 9 reservas de agua potable del cantón, ya que el volumen que va a requerir la población va a ser mayor que la capacidad de almacenamiento. Para hacer frente a esta problemática a largo plazo es necesario implementar una serie de acciones urgentes como: actualizar el plan maestro de agua potable, fortalecer y mejorar la infraestructura existente del sistema de distribución, implementar nuevas reservas, buscar nuevas fuentes de captación, optimizar la gestión hídrica, disminuir pérdidas en las redes de distribución.

En el cantón Riobamba, se proyecta que para el 2039 las redes de distribución Maldonado, Piscín, Saboya, El Carmen, San José de Tapi, Yaruquíes, El Recreo, Tratamiento y San Martín de Veranillo requerirán un volumen de almacenamiento de: 5319 m³, 2444 m³, 7237 m³, 3599 m³, 2607 m³, 830 m³, 1814 m³, 775 m³ y 4247 m³, respectivamente. Generando déficit de 319 m³ en la red Maldonado, 444 m³ en la red Piscín, 237 m³ en la red Saboya, 99 m³ en la red El Carmen, 607 m³ en la red San José de Tapi, 314 m³ en la red Recreo y 247 m³ en la red San Martín de Veranillo.

El análisis de los niveles de llenado medio de los tanques de almacenamiento de las nueve reservas muestra que hay mucha fluctuación en la demanda de la población, ya que el consumo de agua potable no es constante a lo largo del tiempo. Se observa que, al finalizar el día las reservas de agua potable presentan los siguientes volúmenes residuales: reserva Maldonado 3575 m³, reserva Piscín 1080 m³, reserva Saboya 3740 m³, reserva El Carmen 2980 m³, reserva Tapi 1420

m³, reserva Yaruquies 750 m³ y reserva El Recreo 1030 m³. Esta situación indica un desajuste entre la demanda y la capacidad de almacenamiento, que pueden ser optimizados y distribuidos a las redes que presentan déficit de agua potable, también muestra la necesidad de implementar sistemas de control automatizados que permitan ajustar en tiempo real la distribución de agua potable en función a la variación de la demanda de la población.

La optimización de los sistemas de bombeo de agua potable mediante la reducción de las horas de operación, representan una estrategia importante para disminuir los efectos de la actual crisis energética que sufre el país y evitar desabastecimiento de agua potable en el cantón. Al reducir el tiempo de funcionamiento de las bombas aumentará considerablemente el volumen de almacenamiento, pero permite mejorar la resiliencia del sistema ante eventos imprevistos como cortes de energía.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los coeficientes de consumo máximo horario (Kh) desempeñan un papel importante en el diseño de tanques de reserva de agua potable, que ayudan a garantizar la eficiencia y sostenibilidad de este recurso hídrico. Estos coeficientes representan la demanda máxima horaria de agua potable, que está estrechamente relacionado con las costumbres, tradiciones, actividades económicas y la demografía de la zona de estudio. Es importante destacar que los resultados obtenidos muestran que las redes de distribución que registran Kh por encima de los parámetros que establece la norma INEN CPE5, (1992) requieren un volumen de almacenamiento mayor en comparación a las redes que si se encuentran dentro de los parámetros que indica la normativa. Sin embargo, también es importante considerar el número de acometidas de cada red. En la red Yaruquíes se evidencia que a pesar de registrar Kh fuera de los rangos recomendados por la normativa, requiere un volumen menor en comparación a la red El Recreo que si cumple con los parámetros establecidos, esta diferencia se atribuye al menor número de conexiones domiciliarias en la red Yaruquíes, que sugiere una menor demanda per cápita.
- Los resultados de los niveles de llenado medio de los tanques de almacenamiento de las nueve reservas muestran que la fluctuación está directamente asociada al patrón de consumo de agua potable de la población. También se evidencia que las reservas de agua potable mantienen niveles por encima del 50% de su capacidad en el transcurso del día, esta situación indica un desajuste entre la demanda real y la capacidad de almacenamiento. Una gestión hídrica más eficiente va a permitir distribuir este recurso a las redes que presentan déficit de agua potable e incluso llegar a las zonas donde no existe cobertura de este servicio vital.
- Los resultados obtenidos al comparar los volúmenes de diseño en función a los Kh con el volumen actual de almacenamiento, evidencian el déficit de agua potable que tiene el cantón de Riobamba, específicamente en dos redes de distribución: Maldonado y San Martín de Veranillo. La demanda diaria estimada para la red de distribución Maldonado es de 4139 m^3 , mientras que su capacidad de almacenamiento es de 5000 m^3 , en tal virtud esta reserva si cubre la demanda de la población actual. Sin embargo,

es preciso considerar que esta reserva también abastece a la red de distribución San Martín de Veranillo que su demanda diaria estimada es de 3188 m³. Por lo tanto, la demanda total que debe cubrir esta reserva es de 7327 m³, frente a su capacidad limitada de 5000 m³ va a generar déficit de 2327 m³ y en consecuencia desabastecimiento de agua potable para el cantón. El inicio de operaciones de la reserva San Martín de Veranillo permitirá optimizar significativamente la distribución de agua potable, ya que cada red contará con un suministro autónomo de abastecimiento, disminuyendo el déficit de agua potable del cantón en la actualidad.

- Los resultados obtenidos muestran la importancia de realizar una planificación a largo plazo en la gestión adecuada de recursos hídricos en el cantón. Se proyectan desabastecimiento de agua potable para el año 2039, en donde 7 de las 9 reservas de almacenamiento no contarán con el volumen necesario para satisfacer la demanda de la población futura. En cumplimiento de sus atribuciones, la entidad encargada de captar, regular y distribuir agua potable al cantón, debe realizar e implementar las acciones necesarias y adecuadas para evitar que ocurran desabastecimientos en las redes de distribución.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar un sistema automático de monitoreo y control, que se ajuste al nivel de llenado operativo dependiendo de las variaciones de consumo de la población en tiempo real, esto optimizará el uso del agua y reducirá el riesgo de desbordes, para tener sistemas de almacenamiento y distribución más eficiente, beneficiando así a los usuarios y también al cuidado de este recurso hídrico.
- Aumentar la capacidad de las reservas de agua potable especialmente las que presentan déficit, emplazando nuevos tanques que estén diseñados en función a los coeficientes de variación de consumo horario, así como también se consideren periodos de diseño no menores a 15 años y sus respectivas tasas de crecimiento poblacional.
- Planificar mantenimientos periódicos o rutinarios de los tanques y accesorios que conforman las reservas, especialmente en las horas en donde el consumo sea el mínimo,

para evitar la interrupción del suministro y garantizar un flujo constante cuando la demanda de la población sea más elevada.

- Realizar campañas de concientización a la ciudadanía para promover el buen uso de estos recursos hídricos y evitar el desperdicio de agua potable en actividades que realizan cotidianamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales. Sistemas de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. *Asociación Servicios Educativos Rurales (SER)*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%201997.%20Agua%20potable%20para%20poblaciones%20rurales.pdf
- Agüero, R. (2004). Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento. *Organización Panamericana de La Salud (OPS)*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AG%C3%9CERO%202004.%20Operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20captaciones%20y%20reservorios.pdf
- Alcocer-Yamanaka, V. H., Tzatchkov, V. G., & Arreguin-Cortes, F. I. (2012). Modeling of drinking water distribution networks using stochastic demand. *Water Resources Management*, 26(7), 1779–1792. <https://doi.org/10.1007/S11269-012-9979-2>
- Alulema, L., & Estrada, H. (2023). *Estudio del consumo horario residencial de agua potable en las redes Saboya; Veranillo; Maldonado; Piscin de la ciudad de Riobamba*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10919>
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., & Castillo, T. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 3(1), 27–36. <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>
- Avalos, J., & Oleas, G. (2023). *Estudio del comportamiento horario residencial de agua potable en el cantón Riobamba*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11164>
- CARE. (2012). Operación y Mantenimiento de sistemas de agua potable. *CARE Internacional-Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades*, 94–111. www.care.org.ec

- Chuquín, N., Chuquín, D., Miño, G., Chuquín, J., & Soriano, J. (2018). MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. Mathematical Modeling of The Hydraulic System of The Potable Water Network of The City of Riobamba. *Revista Perfiles*, 1. http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9382/1/per_n19_v1_05.pdf
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
- CONAGUA. (2018). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf>
- EP EMAPAR. (2020). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. *EP EMAPAR*, 309, 64–82. <https://www.epemapar.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/plandesarrollocantonal.pdf>
- GAD Riobamba. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. 622, 349–358.
- INEC. (2022). *Censo Ecuador*. <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- INEN CPE5. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. www.pdfactory.com
- Leveque, B., Irakiza Shyaka, A., Ndong, M., Jalbert, J., Burnet, J.-B., Kammoun, R., Dorner, S., & Bichai, F. (2024). Assessing the vulnerability of urban drinking water intakes to water scarcity under global change: A bottom-up approach. *Environmental Challenges*, 15, 100885. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100885>
- Llanos, D. (2021). Determinación de los coeficientes reales de variación de consumo diario (K1) y horario (K2) para mejorar futuros diseños de obras de saneamiento del Sub Sector 24 de la ciudad de Tacna. *Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1865>
- Martinez, S. E., Escolero, O., & Wolf, L. (2011). Total Urban Water Cycle Models in Semiarid Environments-Quantitative Scenario Analysis at the Area of San Luis Potosi, Mexico. *Water Resources Management*, 25(1), 239–263. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9697-6>

- Morales, L., & Magaña, E. (2008). Estudio de eficiencia energética en bombas de agua del laboratorio de acuicultura de la DACBIOL. *Revista de Divulgación Académica de Ciencias*. Dialnet-EstudioDeEficienciaEnergeticaEnBombasDeAguaDelLabo-9492642%20(1).pdf
- Moyón, C., & Ordóñez, D. (2019). “CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED DE NODOS INTELIGENTES PARA SUPERVISAR LA CALIDAD Y NIVELES DEL AGUA POTABLE EN LOS TANQUES DE RESERVA DE EP-EMAPAR.” <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13488/1/98T00257.pdf>
- NTC 4576. (1999). *Desinfección de instalaciones de almacenamiento de agua potable*. <https://www.studocu.com/co/document/servicio-nacional-de-aprendizaje/proyectos-agropecuarios/ntc-4576-documento-de-apoyo-para-elaboracion-de-lineas-de-tiempo-de-forma-eficaz-siguiendo/22723579>
- OMS. (2019). *Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud Limpieza y desinfección de los tanques de almacenamiento de agua*. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/tecno-ciencia/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano-tecno-ciencia/almacenamiento-y-distribucion-del-agua-para-consumo-tecno-ciencia/documento-tecnico-tecno-ciencia/1376-limpieza-y-desinfeccion-de-los-tanques-de-almacenamiento-de-agua/file>
- OMS. (2023). *Agua para consumo humano*. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OPS. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE RESERVORIOS ELEVADOS DE AGUA POTABLE*. Organización Panamericana de la Salud. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005c%20Reservorios%20elevados.pdf
- Pazos, E. (2020). *Leyes de conservación para el movimiento de un fluido*. <https://ecfm.usac.edu.gt/epazos/mecanica2/leyes-conservacion-fluido.pdf>
- Pérez, E., Lobo, G., & Sánchez, D. (2017). *Automatización de un sistema de extracción, llenado y distribución de agua potable en Ocaña, Colombia*. *Revista Ingenio*. <https://doi.org/https://doi.org/10.22463/2011642X.2442>

- Ramos, L. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DIARIO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL SECTOR LA PENÍNSULA DEL CANTÓN AMBATO*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30585?locale=de>
- Reyes, F. (2024). *Crisis energética en el Ecuador: Origen, actualidad y alternativas para esta problemática*. Universidad Bolivariana Del Ecuador.
<https://ube.edu.ec/Pericias/articulo/23/Crisis%20energ%C3%A9tica%20en%20Ecuador:%20Origen,%20actualidad%20y%20alternativas%20para%20esta%20problem%C3%A1tica>
- Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Riha, C., & Góngora, C. (2017). DESAFIOS AMBIENTALES PARA USO DE LA HIDROGENERACIÓN ENVIRONMENTAL CHALLENGES FOR THE USE OF HYDROGENERATION. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 1–12.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323652916001>
- Saire, J. (2015). *EVALUACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN DE CONSUMO HORARIO Y DIARIO EN LAS LÍNEAS DE INTERCONEXIÓN DE LOS RESERVORIOS DEL SISTEMA VILCANOTA-CUSCO*.
https://www.researchgate.net/publication/321479965_EVALUACION_DE_LOS_COEFICIENTES_DE_VARIACION_DE_CONSUMO_HORARIO_Y_DIARIO_EN_LAS_LINEAS_DE_INTERCONEXION_DE_LOS_RESERVORIOS_DEL_SISTEMA_VILCANOTA-CUSCO
- Segovia, J. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DIARIO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LOS SECTORES ATAHUALPA 2, CONSTANTINO FERNÁNDEZ 2 Y AUGUSTO MARTÍNEZ 2, DEL CANTÓN AMBATO*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29213>
- Vives Sarmiento, J. V., & Naranjo Navas, C. P. (2021). ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CANTÓN RIOBAMBA EN ECUADOR DURANTE EL “CORREATO.” *Revista de Ciencias Sociales*, 169, 69–70. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i169.45484>
- WHO. (1997). Guidelines for drinking-water quality. *World Health Organization (WHO)*, 3, 45–135.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/WHO%201997.%20Guidelines%20for%20drinking%20water%20quality.pdf

Zúñiga, M. G., Izurieta, C., Arellano, A., Zúñiga, M. G., Izurieta, C., & Arellano, A. (2023). Análisis comparativo entre los consumos de agua potable históricos y los de la Pandemia COVID-19 en Ecuador. *Revista Digital Novasineria*, 6(2), 46–61. <https://doi.org/10.37135/NS.01.12.03>