

Artículo de Investigación

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

Influence of the maximum hourly coefficient in the design of potable water reservoir tanks in Riobamba

María Gabriela Zúñiga¹, Bayron Santillán¹, Carlos Izurieta¹, Carolina Merino¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060501;

bayron.santillan@unach.edu.ec; cizurieta@unach.edu.ec; diana.merino@unach.edu.ec

*Correspondencia: mariag.zuniga@unach.edu.ec

Citación: Zúñiga, M.; Santillán, B.; Izurieta, C. & Merino, C., (2025). Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable en Riobamba. *Novasinerгия*. 8(2). 32-55.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.16.02>

Recibido: 13 enero 2025

Aceptado: 31 marzo 2025

Publicado: 02 julio 2025

Novasinerгия

ISSN: 2631-2654

Resumen: La escasez de agua, un problema global que afecta a numerosas ciudades, se ve exacerbada por el crecimiento poblacional, la contaminación de fuentes hídricas, el cambio climático y el aumento en la demanda. Para asegurar un suministro continuo, los tanques de almacenamiento, estructuras diseñadas para regular la presión y almacenar el volumen necesario durante los picos de demanda, son cruciales. Este estudio analizó la influencia del coeficiente máximo horario (Kh) en el diseño de tanques de almacenamiento para el cantón Riobamba. Para ello, se verificaron los coeficientes máximos horarios de investigaciones previas, se recopiló información de los sistemas de agua potable y se registraron los niveles de llenado y vaciado, con mediciones horarias durante siete días, a las nueve reservas de almacenamiento existentes. El diseño de los tanques consideró volúmenes de regulación, emergencia e incendios. Los resultados revelaron que los tanques de la red Maldonado no satisface la demanda actual, generando desabastecimiento en las redes Maldonado y San Martín de Veranillo con un déficit de 2327 m³/día. Además, una proyección a 15 años (hasta el 2039) indica que siete de las nueve reservas no tendrán la capacidad suficiente para cubrir la demanda futura, generando un déficit total de 2267 m³/día.

Palabras clave: Agua potable, Coeficiente de consumo horario (Kh), Desabastecimiento, Redes de distribución, Tanques de reserva.

Abstract: Water scarcity, a global problem affecting many cities, is exacerbated by population growth, pollution of water sources, climate change, and increased demand. Storage tanks, structures designed to regulate pressure and store the necessary flow during peak demand, are crucial to ensure a continuous supply. This study analyzes the influence of the maximum hourly coefficient (Kh) in the design of storage tanks for the canton of Riobamba. For this purpose, the maximum hourly coefficients of previous investigations were verified, information was collected from the potable water systems, and the filling and emptying levels were recorded, with hourly measurements during seven days, of the nine existing storage tanks. The design of the tanks considered regulating emergency and fire volumes. The results revealed that the Maldonado network tank does not meet the current demand, generating shortages in the Maldonado and San Martín de Veranillo networks. In addition, a 15-year projection (up to 2039) indicates that seven of the nine systems will not have sufficient capacity to meet future demand.

Keywords: Drinking water, Hourly consumption coefficient (Kh), Shortage, Distribution networks, Reserve tanks.



Copyright: 2025 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

La escasez de agua es un problema que aqueja a cientos de ciudades a nivel mundial. 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 [1].

En los sistemas de distribución de agua potable (SDAP), las fluctuaciones significativas en la presión del agua son un fenómeno común, impulsado por las variaciones diarias en la demanda de los consumidores. Durante las horas pico, el aumento de las pérdidas de carga a lo largo de las tuberías de distribución provoca caídas de presión, resultando en escasez de agua y descontento entre los usuarios. Por otro lado, durante las horas de menor demanda, las presiones alcanzan sus máximos, lo que puede llevar a fugas, roturas de tuberías y un consumo excesivo de energía. Además, el bajo consumo nocturno incrementa el tiempo de retención hidráulica, particularmente en los componentes de almacenamiento cercanos a los puntos de consumo, favoreciendo procesos biológicos indeseables y afectando negativamente la calidad del agua [2].

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 urbanos 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 del líquido vital [3].

Uno de los elementos esenciales para garantizar un flujo continuo a las redes de distribución son los tanques de almacenamiento, que permiten regular la presión y almacenar el volumen necesario para abastecer la variación de consumo de agua potable de la población. La EP EMAPAR destaca que la provisión de agua potable se lleva a cabo mediante nueve redes de distribución (ver Figura 1): 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 [4]. 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.

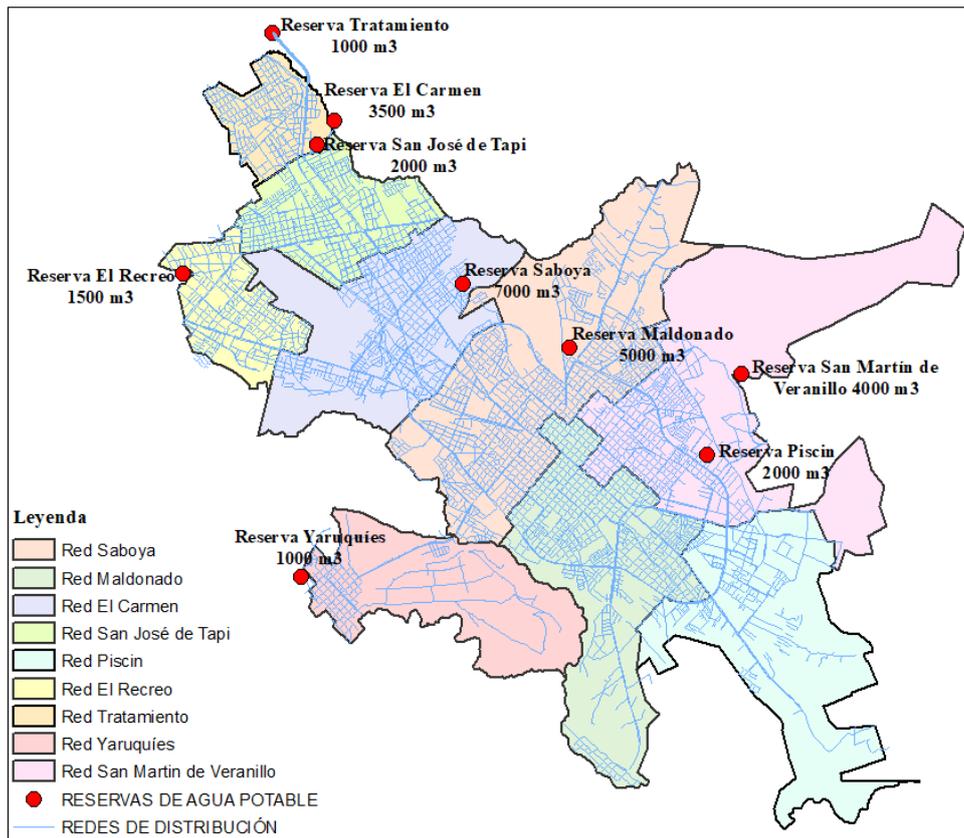


Figura 1. Ubicación de las reservas de agua potable distribuidas en el cantón Riobamba.

Para asegurar un diseño óptimo y una operación eficiente de los tanques de almacenamiento de agua potable, es crucial considerar el patrón de consumo horario del cantón. Este análisis permite identificar los factores clave que influyen en la variación del consumo y lograr una gestión hídrica eficiente. [5] señalan que los parámetros que inciden en el consumo de agua potable son: climatológicos, sociodemográficos, socioeconómicos, de gestión y de calidad del agua.

El coeficiente de consumo máximo horario es un parámetro fundamental para el diseño de sistemas de distribución, garantizando un suministro continuo y satisfaciendo la demanda máxima de la población [6]. La norma CPE INEN 5 – 1992 recomienda utilizar estos coeficientes para dimensionar volúmenes de almacenamiento y redes de distribución, debido a la variabilidad inherente de la demanda hídrica y la necesidad de que los tanques de reserva estén dimensionados para las fluctuaciones del consumo [7].

Estudios recientes en el cantón Riobamba han evidenciado variaciones significativas en el coeficiente de consumo máximo horario (K_h) en diversas redes de distribución de agua potable, desviándose de los parámetros establecidos por [7] que recomienda un rango de 2 a 2.30. [8] analizaron cuatro redes (Maldonado, Piscin, Saboya y San Martín de Veranillo), encontrando valores de K_h de 2.99, 2.61, 2.96 y 2.52, respectivamente, en una muestra de 379 usuarios. De manera similar, [9] reportaron coeficientes de 2.16 (Red Tratamiento), 3.52 (Red Tapi), 1.74 (Red El Recreo), 2.99 (Red El Carmen) y 2.43 (Red Yaruquies), correlacionando las horas de mayor consumo con las actividades cotidianas de los habitantes.

El objetivo de este estudio es analizar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de los tanques de reserva de agua potable en Riobamba. Se busca determinar cómo este coeficiente impacta la capacidad y eficiencia de los tanques, y si los diseños actuales son adecuados para satisfacer la demanda de agua potable, considerando las variaciones en el consumo a lo largo del día.

2. Metodología

La presente investigación, de carácter exploratorio, buscó obtener una comprensión inicial del problema de abastecimiento de agua potable en el cantón, analizando la estructura de los sistemas que lo suministran. Este análisis comprendió el sistema de distribución en su conjunto, incluyendo las redes de distribución, la cobertura del servicio (zonas y áreas de cobertura), las reservas de agua potable, la capacidad de los tanques de almacenamiento, sus niveles de llenado, el número de acometidas y la cantidad de habitantes abastecidos por cada red. Esta investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que permitió el análisis estadístico para determinar los niveles medios de llenado de los tanques de almacenamiento en cada reserva de agua potable. Además, permitió realizar proyecciones del número de acometidas y habitantes, así como dimensionar los volúmenes de almacenamiento requeridos para cada red de distribución. Esta investigación fue de carácter exploratorio, ya que buscó determinar la influencia de los coeficientes de consumo máximo horario en el diseño de tanques de reserva. Además, permitió comparar si las reservas actuales satisfacían la demanda máxima de la población presente y la proyectada a 15 años. Finalmente, se proporcionaron recomendaciones para optimizar el diseño de los tanques de almacenamiento y lograr una gestión hídrica más eficiente. La metodología propuesta proporcionó un enfoque sistemático y riguroso para el desarrollo del estudio, facilitando una gestión organizada en cada etapa. Siguiendo una secuencia lógica desde la conceptualización del problema hasta la implementación de soluciones, se abordaron las siguientes fases: identificación del problema en el cantón; recolección de datos; diseño de volúmenes de almacenamiento; análisis comparativo de dichos volúmenes; y, finalmente, la formulación de recomendaciones específicas para mejorar el diseño y la operación de los sistemas. El procedimiento detallado para la aplicación de esta metodología se presenta en la Figura 2.

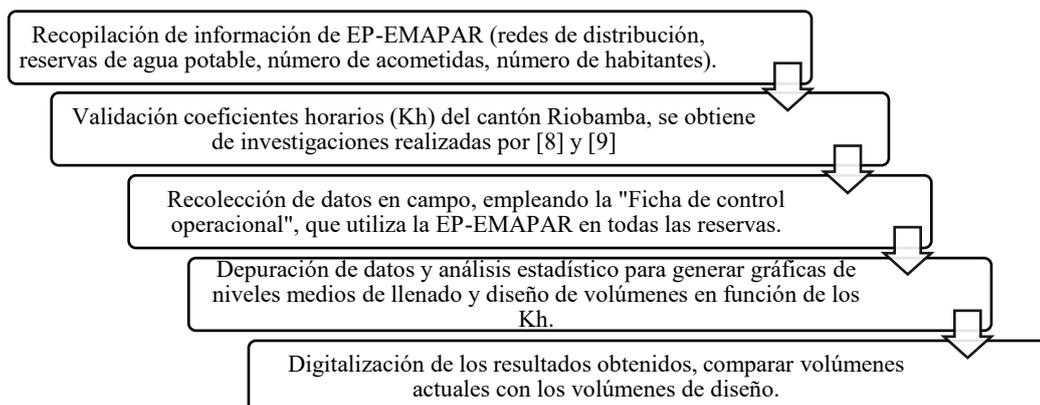


Figura 2. Esquema metodológico de la investigación.

2.1. *Técnicas de recolección de datos*

Para el desarrollo de este estudio, se implementó una estrategia de recolección de datos que incluyó el uso de fichas de control operacional para registrar los niveles de llenado y vaciado de los tanques de almacenamiento de cada reserva de agua potable del 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 período de siete días. Debido a que EP EMAPAR ya contaba con una ficha de control operacional estandarizada (ver Figura 3), no fue necesario elaborar un instrumento de recolección adicional. Para registrar el porcentaje del nivel de llenado, los operadores visualizaban una regleta impresa en la pared de los tanques, con valores de 0% a 100 % e intervalos de 5 %. Junto a la regleta se encontraba una manguera transparente conectada directamente al tanque que, mediante la presión ejercida por el agua, indicaba el porcentaje de nivel de llenado en aquel intervalo de tiempo.

 EP EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO RIOBAMBA DIRECCIÓN TÉCNICA CONTROL OPERACIONAL DE RESERVA DE AGUA POTABLE																								
CENTRO: _____						TANQUE: _____						CAPACIDAD: _____ m ³						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																								

Figura 3. Ficha de control operacional de reserva de agua potable.

2.2. *Población de estudio y tamaño de la muestra*

La población de estudio correspondió a las nueve reservas de agua potable existentes en el cantón, con sus respectivas redes de distribución, acometidas y habitantes. El número de acometidas y habitantes se obtuvo del catastro de acometidas de agua potable al mes de agosto de 2024 de la EP EMAPAR, que se muestra en la Tabla 1. La muestra de estudio es toda la población beneficiaria de las nueve reservas de agua potable.

Tabla 1. Número de acometidas y habitantes de cada red de distribución

Nº	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

2.3. *Análisis y validación de coeficientes de consumo máximo horario (Kh)*

Los coeficientes de consumo máximo horario (Kh) del cantón Riobamba, se obtuvo de investigaciones previas realizadas por [8] y [9]. Estos valores se tabularon en una hoja de cálculo, en donde se organizan los Kh con su respectiva red de distribución.

Para validar los datos, se realizó un análisis en Microsoft Excel, donde se calculó el promedio aritmético de los Kh de cada red de distribución. Para garantizar el principio de la conservación de la masa, se verificó que este promedio fuera igual a 1, dado que el Kh representa la relación entre el consumo máximo y el consumo promedio diario. A fin de determinar el valor promedio aritmético, se empleó la siguiente ecuación (1):

$$KhPro = \frac{\sum Kh}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\sum Kh$ = sumatoria de los coeficientes de consumo máximo horario.

n = número de datos.

2.4. *Procesamiento y análisis de datos para determinar los niveles de llenado*

Tras la recopilación de datos de los porcentajes de niveles de llenado durante siete días en las nueve reservas del cantón, a partir de la ficha de "Control Operacional de Reserva de Agua Potable", estos se tabularon en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Los datos fueron clasificados según cada red de abastecimiento, incluyendo el número de tanques, la capacidad de almacenamiento y los registros de los porcentajes de niveles de llenado. Concluido el procesamiento de datos, se realizó un análisis estadístico utilizando el software Minitab 18. Se generaron diagramas de cajas y bigotes para identificar y excluir valores atípicos, así como para determinar la dispersión estadística, incluyendo los cuartiles Q1, Q2 (mediana) y Q3. Este análisis permitió determinar el nivel medio de llenado por hora de los tanques de almacenamiento de las nueve reservas de agua potable del cantón.

2.5. *Determinación del volumen de regulación para cada red.*

[7] establece que, para el diseño de sistemas de almacenamiento de agua potable, se consideren los volúmenes destinados para regulación, protección contra incendios y emergencia. El volumen de regulación se encuentra en función del Kh, que está relacionado directamente con el caudal de salida [10]. Para obtener este parámetro se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$Q_{medRed} = Q_{med} * \#Acometidas \quad (2)$$

$$Q_{diarioRed} = Q_{med} * \#Acometidas * 24h \quad (3)$$

$$Q_{Entrada} = \frac{Q_{diarioRed}}{h} \quad (4)$$

$$Q_{Salida} = Q_{medRed} * Kh \quad (5)$$

$$V_{inicial} = V_{fi} - 1 \quad (6)$$

$$V_{final} = V_{inicial} + [(Q_{Entrada} - Q_{Salida})] * \Delta t \quad (7)$$

Donde:

Q_{medRed} = caudal medio de la red.

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

$Q_{Entrada}$ = caudal de entrada.

Q_{Salida} = caudal de salida.

$V_{iRegulación}$ = volumen inicial de regulación.

V_r = volumen de regulación.

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

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

h = número de horas que ingresa agua a los tanques de almacenamiento.

Kh = coeficiente de consumo máximo horario (valor obtenido de investigaciones previas [8], [9]).

V_{fi-1} = volumen final en la hora anterior.

Δt = intervalo de tiempo (cada hora).

La norma CPE INEN 5 – 1992 recalca que los volúmenes contra incendios y emergencias están directamente relacionados con el número de habitantes, en las ecuaciones (8), (9) (10) y (11) se muestran las condiciones para los volúmenes contra incendios y en las ecuaciones (12) y (13) para los volúmenes de emergencia [7].

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

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

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

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

Donde:

V_i = volumen de protección contra incendios.

p = población (en miles de habitantes).

$$< 5000 \text{ habitantes.} \quad V_e = 0 \quad (12)$$

$$> 5000 \text{ habitantes.} \quad V_e = 25\% * V_r \quad (13)$$

Donde:

V_e = volumen de emergencia.

2.6. Población futura

El plan maestro de agua potable y alcantarillado del cantón Riobamba fue diseñado para una vida útil estimada de 25 a 30 años. Considerando que han transcurrido 10 años desde su implementación, se realizó un estudio de proyección a 15 años del número de acometidas y habitantes para evaluar si la capacidad de las reservas de agua potable del cantón satisface la demanda proyectada en este período de diseño.

Para la proyección de la población futura y el cálculo de la tasa de crecimiento, se aplicaron los tres métodos prescritos por la norma CPE INEN 5 – 1992: aritmético, geométrico y exponencial [7]. El análisis estadístico reveló que el modelo de proyección geométrico ofrecía la mayor capacidad predictiva, demostrando un ajuste superior a los datos históricos. Esta superioridad radica en la capacidad del modelo geométrico para capturar patrones de crecimiento compuesto, que son característicos de poblaciones en desarrollo donde el crecimiento no es necesariamente lineal. El modelo geométrico, al considerar una tasa de crecimiento constante aplicada sobre la población acumulada, refleja de manera más precisa la dinámica poblacional observada en el área de estudio. En la Tabla 2, se presenta la población futura proyectada mediante los métodos geométrico y aritmético. Los resultados obtenidos con el método exponencial fueron descartados debido a su inadecuado ajuste a la población de análisis.

Tabla 2. Número de acometidas y habitantes de cada red de distribución

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

3. Resultados

Los niveles de llenado medio de los tanques de almacenamiento en las nueve reservas de agua potable del cantón Riobamba (ver Figura 4) evidencian una fluctuación significativa en la demanda de este servicio básico por parte de la población. Dicha variabilidad se debe a que el consumo de agua no presenta un comportamiento constante a lo largo del día, sino que está directamente asociado con los patrones de uso de los habitantes, los cuales reflejan hábitos y actividades cotidianas que influyen en la dinámica de demanda. Adicionalmente, se observa que al finalizar el ciclo diario (23h00), las reservas registran los siguientes volúmenes residuales: reserva Maldonado con 3575 m³, reserva Piscín con 1080 m³,

reserva Saboya con 3740 m³, reserva El Carmen con 2980 m³, reserva Tapi con 1420 m³, reserva Yaruquías con 750 m³ y reserva El Recreo con 1030 m³. Estos valores reflejan la capacidad remanente en cada reservorio al término de la jornada, lo cual permite evaluar la eficiencia del sistema de distribución y la capacidad de respuesta ante picos de demanda.

La Figura 4 muestra que el nivel mínimo de los tanques durante las horas de mayor consumo se mantiene por encima del 30%. Si bien esto asegura la continuidad del suministro, la práctica de no vaciar completamente los tanques durante la limpieza y el mantenimiento podría favorecer la acumulación de sedimentos y la formación de biopelículas. Estas condiciones pueden deteriorar la calidad del agua, incrementando la turbidez, alterando el color y potencialmente promoviendo la proliferación bacteriana.

La Tabla 3 presenta los resultados del cálculo del volumen de regulación para cada reserva, obtenidos mediante la aplicación de las ecuaciones 2 a 7. Estos resultados destacan la influencia crítica del coeficiente de consumo máximo horario (Kh) en el dimensionamiento del volumen de regulación. Un Kh preciso es esencial para un diseño adecuado, ya que determina la capacidad necesaria para satisfacer las variaciones en la demanda. Se observa que el volumen de almacenamiento tiende a un mínimo, idealmente cercano a cero, durante el intervalo de máxima demanda, específicamente entre las 13h00 y 14h00, lo que indica una eficiente utilización de la reserva. El volumen de regulación final se determina sumando el máximo volumen positivo acumulado con el valor absoluto del máximo volumen negativo acumulado, cuando este último existe.

La Figura 5 muestra los volúmenes de regulación calculados mediante dos métodos de proyección poblacional: aritmético y geométrico. Se presentan tres escenarios: el volumen de regulación para la población actual (línea azul), el volumen proyectado con el método aritmético (línea gris) y el volumen proyectado con el método geométrico (línea naranja). El análisis se centra en los resultados del método geométrico, ya que representa el escenario de mayor demanda, aunque con diferencias mínimas respecto al método aritmético.

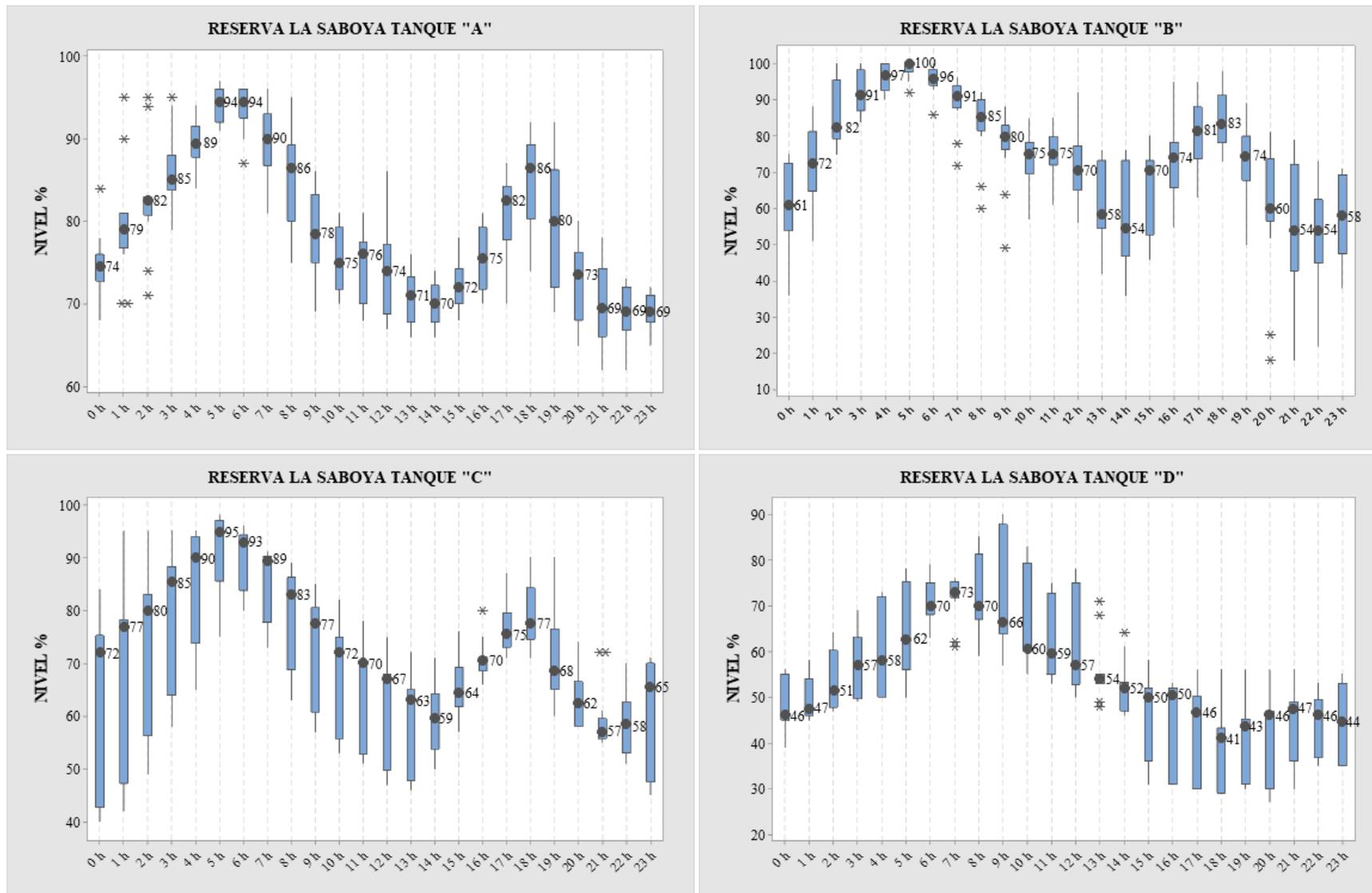
En este sentido, se ha identificado que estos intervalos varían según la reserva: Maldonado a las 21h00; Saboya a las 20h00; El Carmen a las 22h00; San José de Tapi a las 14h00; Piscín a las 20h00; El Recreo a las 20h00; San Martín de Veranillo a las 20h00 y Yaruquías a las 21h00. Para garantizar un suministro continuo y eficiente en las horas de mayor demanda, se requiere los siguientes volúmenes de almacenamiento en función de la población actual: Maldonado 2776 m³; Saboya 3742 m³; El Carmen 1476 m³; San José de Tapi a las 1038 m³; 1122 m³; El Recreo 745 m³; San Martín de Veranillo 2111 m³ y Yaruquías 316 m³. En cuanto a la proyección para la población futura, los volúmenes necesarios serían: Maldonado 3644 m³; Saboya 4999 m³; El Carmen 2323 m³; San José de Tapi a las 1702 m³; 1784 m³; El Recreo 1297 m³; San Martín de Veranillo 2884 m³ y Yaruquías 521 m³. Los Kh son determinantes para calcular los volúmenes de almacenamiento requerido,

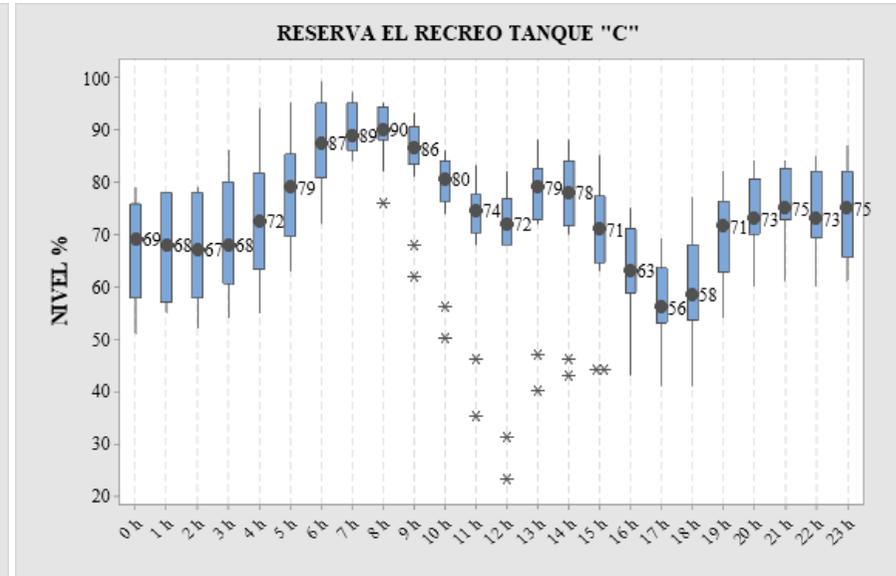
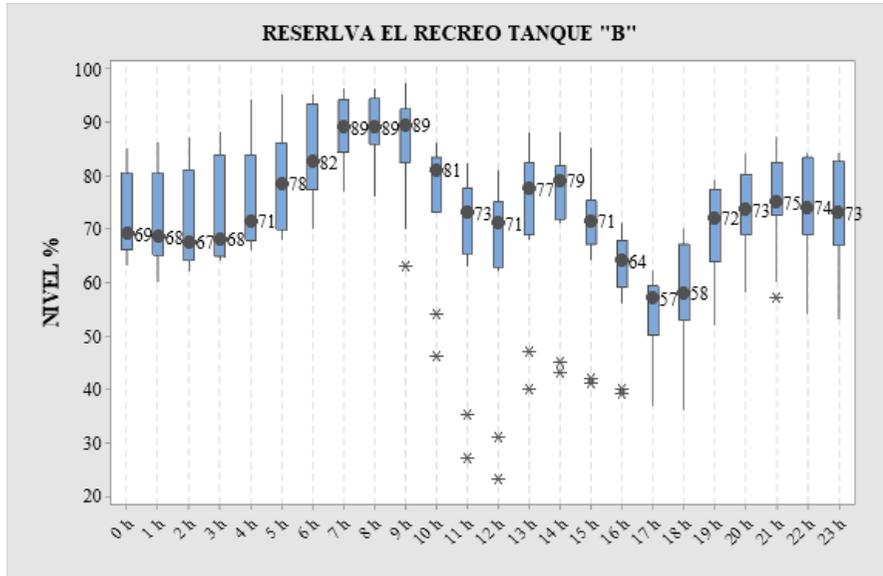
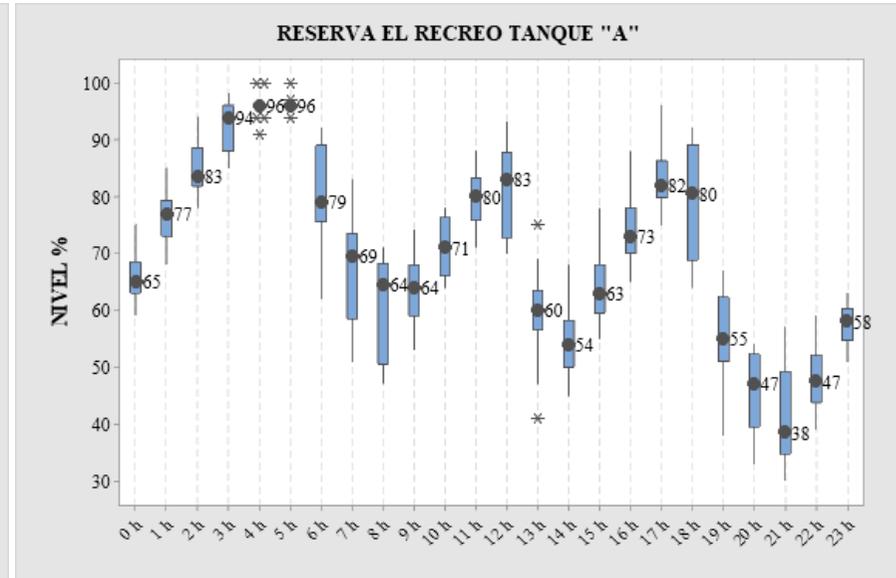
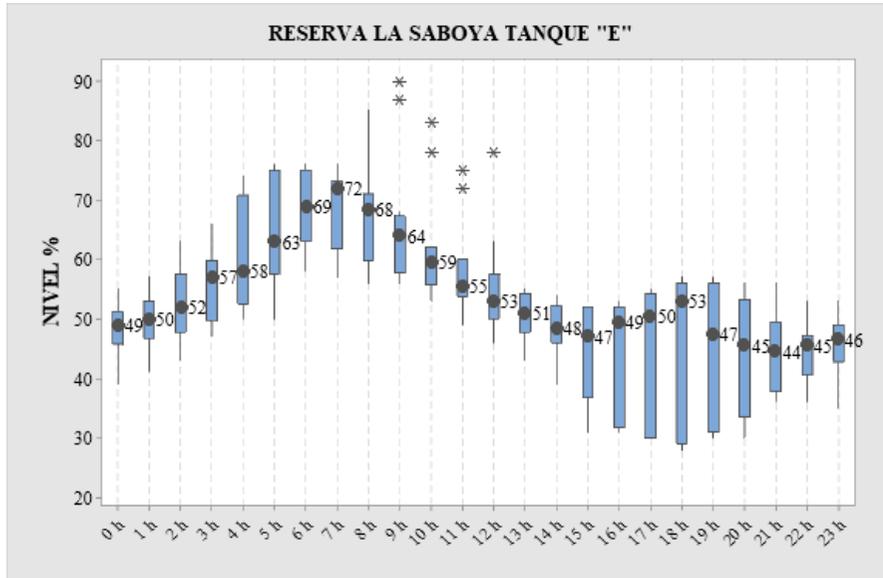
garantizando así la capacidad de abastecimiento durante los picos de demanda de la población.

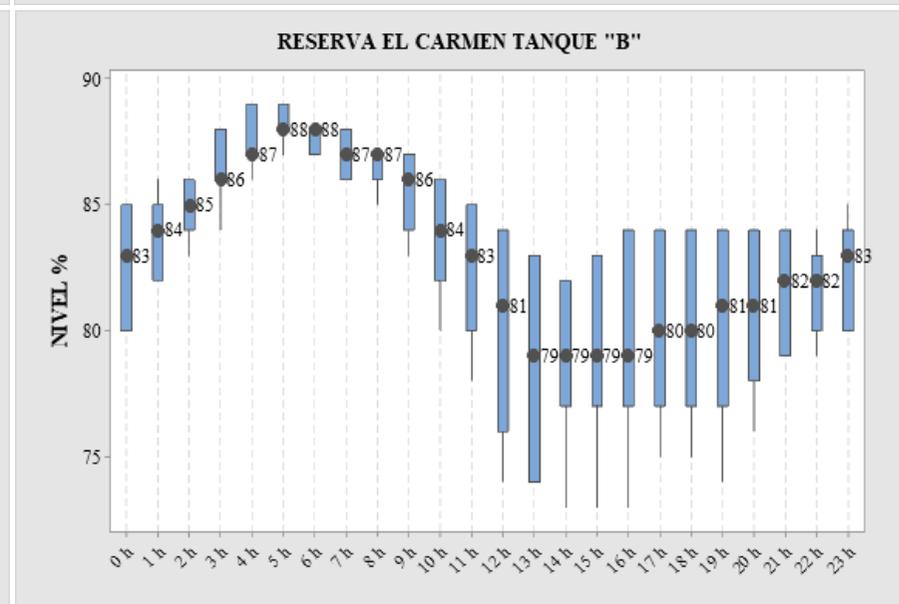
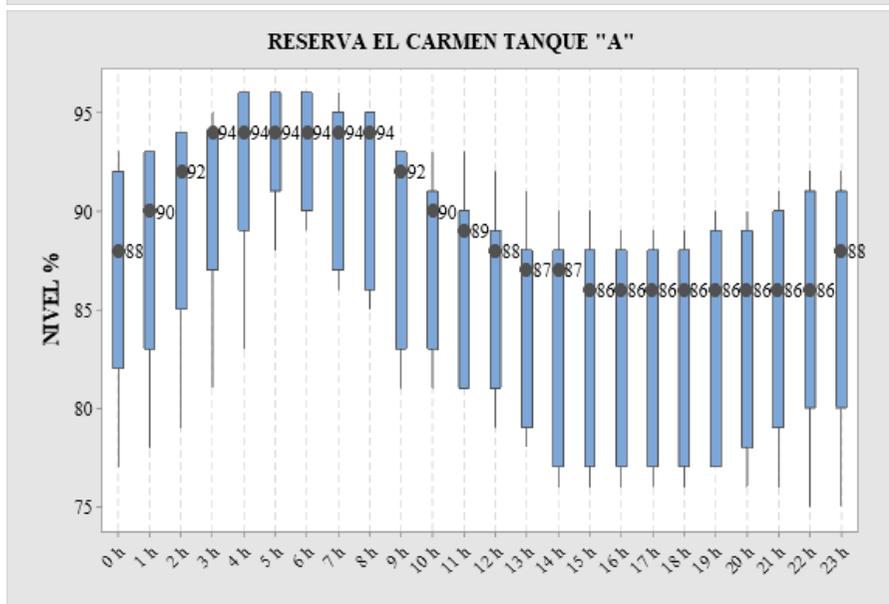
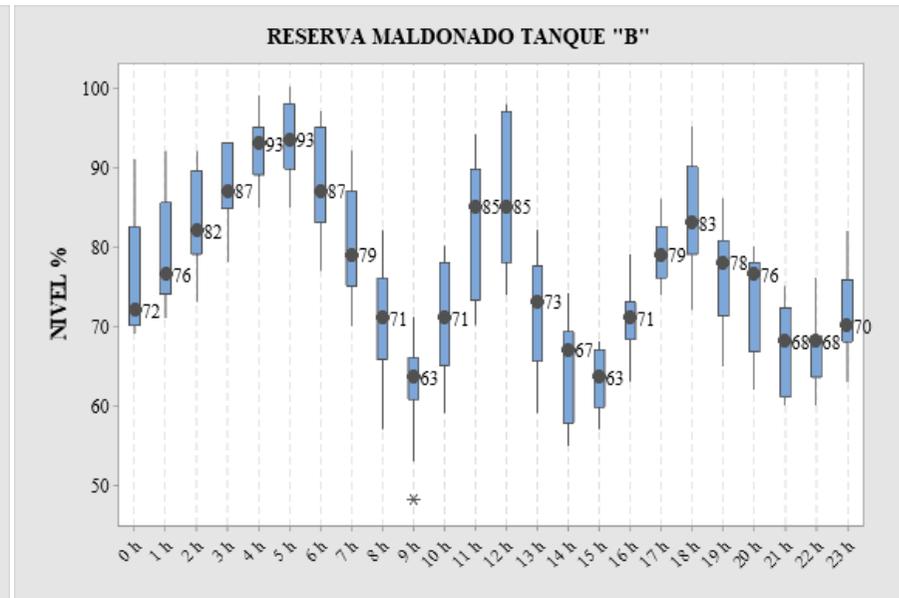
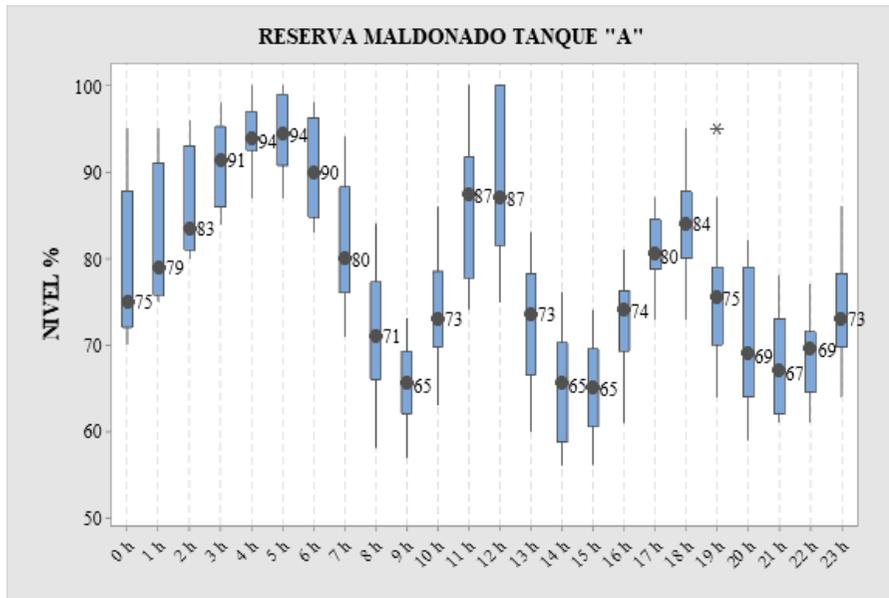
Tabla 3. Volumen de protección contra incendios y volumen de emergencia (Población Actual).

	Intervalo horario	Kh	N° Horas	Q Entrada m ³ /h	Q Salida m ³ /h	V Inicial m ³	V Final m ³
0	1	0.19	1	223.47	42.46	619.02	800.03
1	2	0.19	1	223.47	42.46	800.03	981.04
2	3	0.19	1	223.47	42.46	981.04	1162.05
3	4	0.19	1	223.47	42.46	1162.05	1343.06
4	5	0.19	1	223.47	42.46	1343.06	1524.08
5	6	0.84	1	223.47	187.72	1524.08	1559.83
6	7	2.56	1	223.47	572.09	1559.83	1211.22
7	8	2.47	1	223.47	551.97	1211.22	882.71
8	9	3.52	1	223.47	786.62	882.71	319.56
9	10	1.26	1	223.47	281.57	319.56	261.46
10	11	1.02	1	223.47	227.94	261.46	256.99
11	12	1.56	1	223.47	348.62	256.99	131.85
12	13	1.44	1	223.47	321.80	131.85	33.52
13	14	1.15	1	223.47	256.99	33.52	0.00
14	15	0.81	1	223.47	181.01	0.00	42.46
15	16	0.43	1	223.47	96.09	42.46	169.84
16	17	0.57	1	223.47	127.38	169.84	265.93
17	18	0.74	1	223.47	165.37	265.93	324.03
18	19	1.24	1	223.47	277.10	324.03	270.40
19	20	1.02	1	223.47	227.94	270.40	265.93
20	21	1.29	1	223.47	288.28	265.93	201.12
21	22	0.75	1	223.47	167.60	201.12	256.99
22	23	0.19	1	223.47	42.46	256.99	438.00
23	24	0.19	1	223.47	42.46	438.00	619.02

3.1. Niveles de llenado medio de los tanques de almacenamiento de las reservas de agua potable del cantón Riobamba.







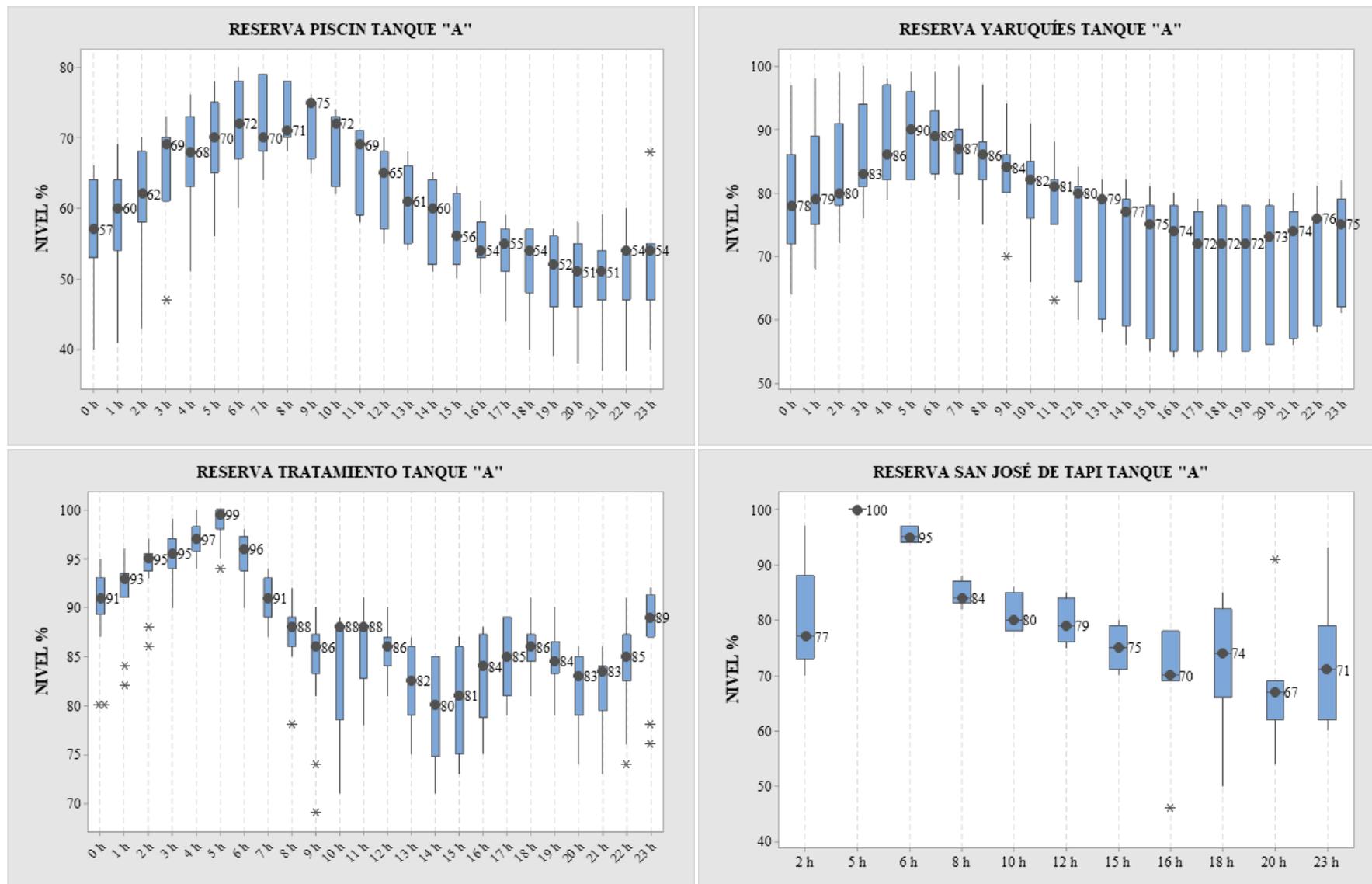
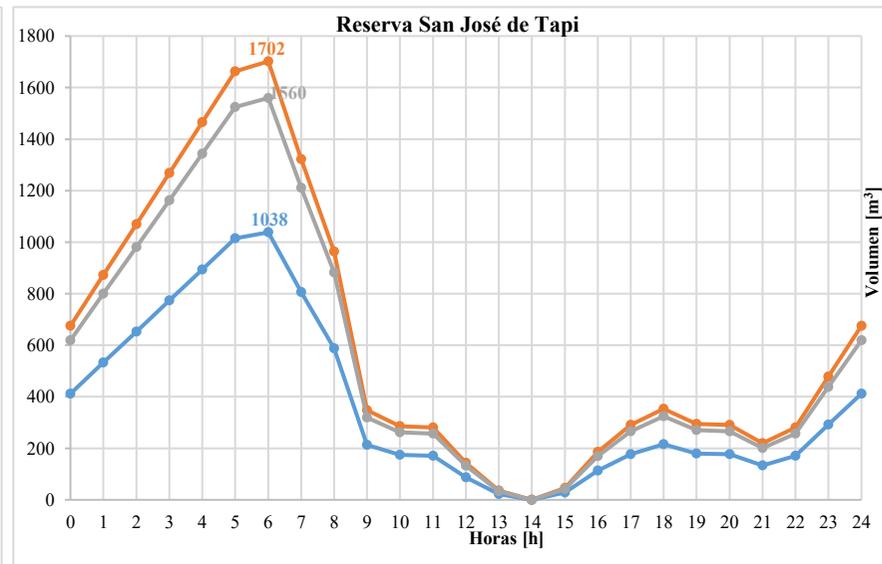
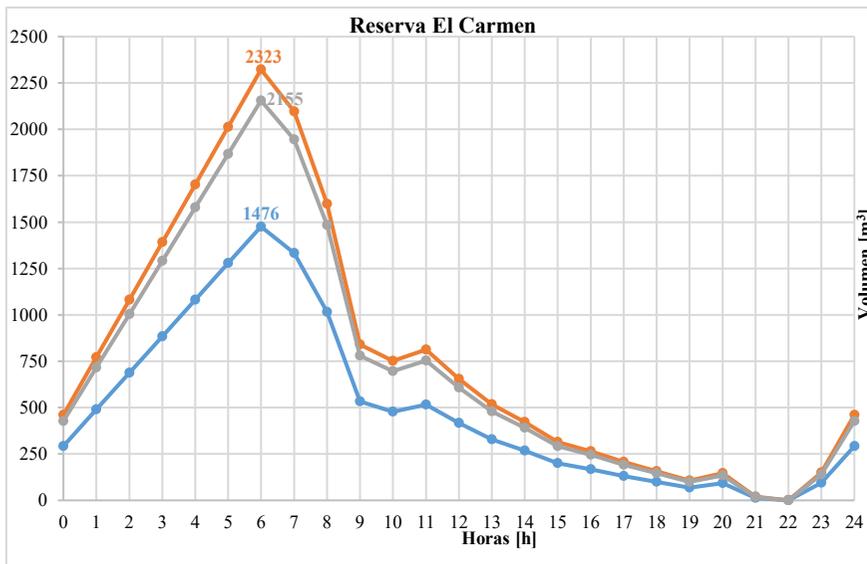
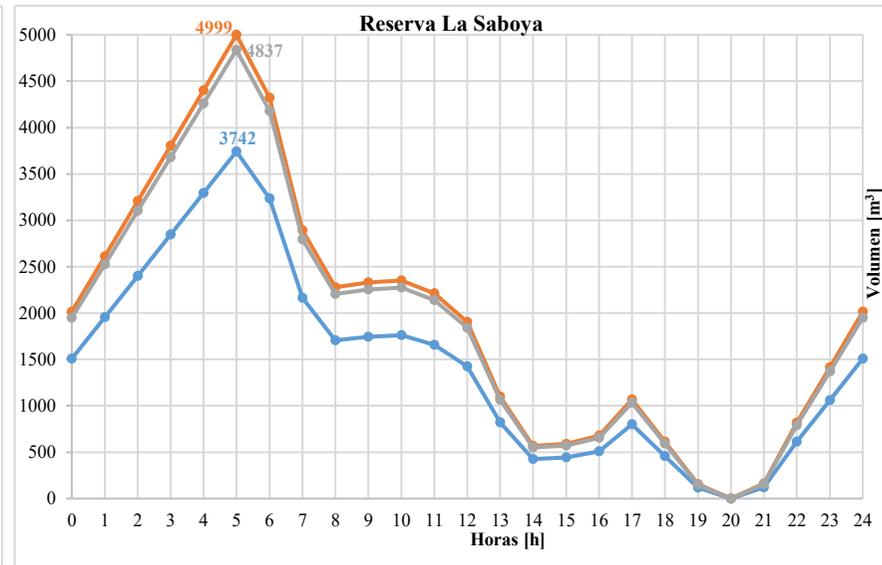
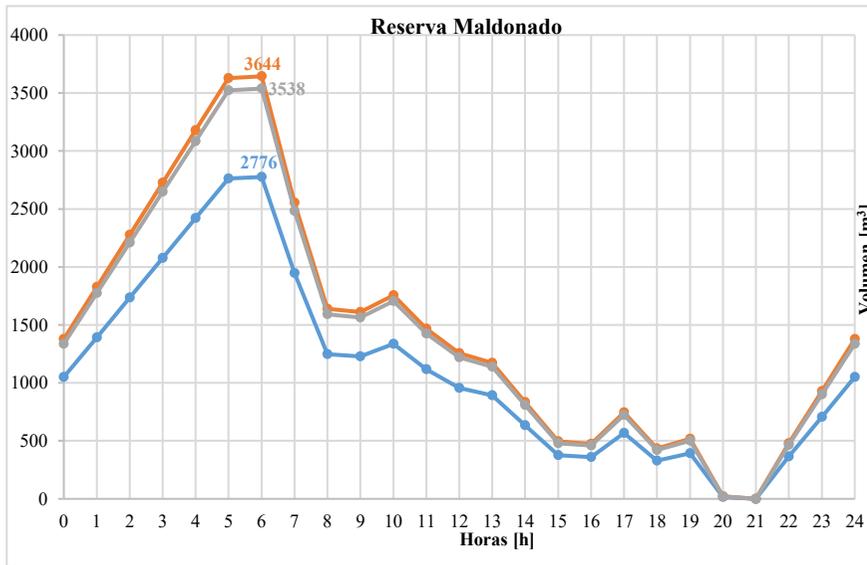
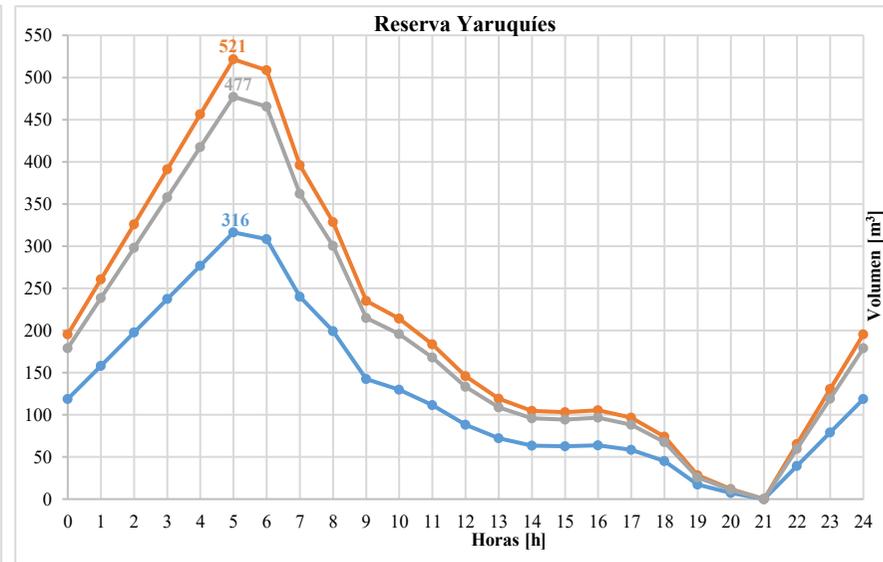
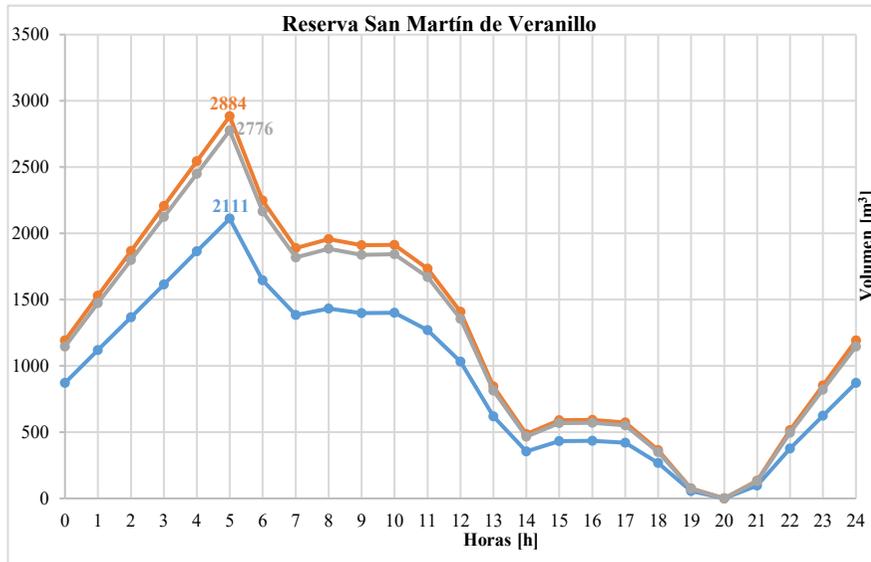
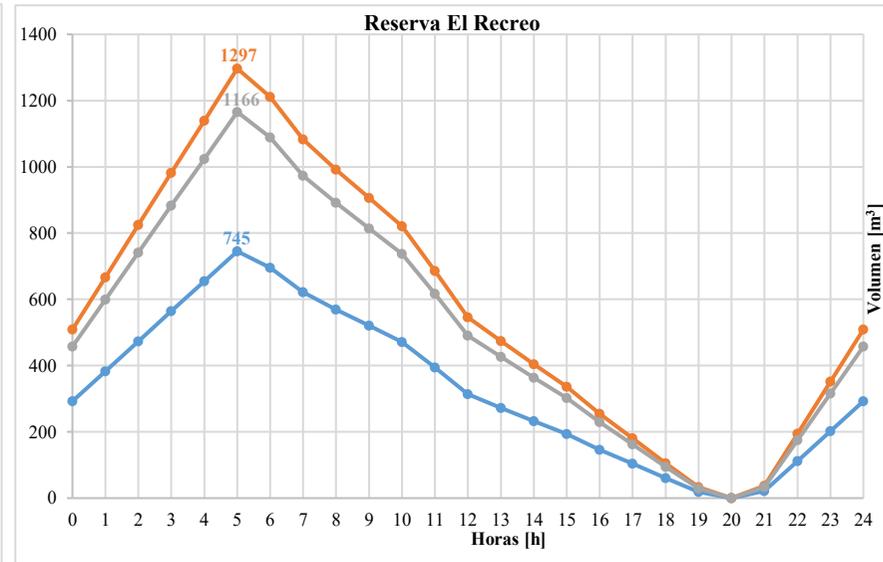
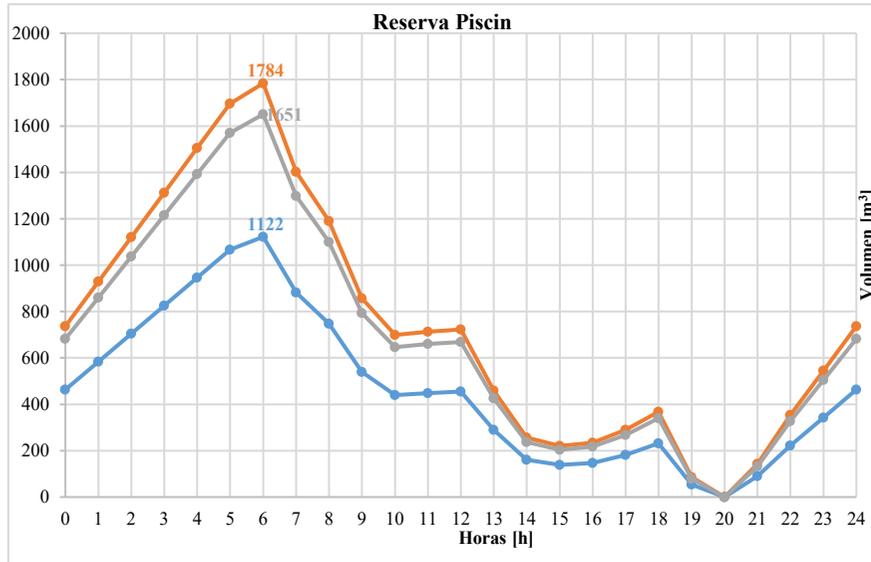


Figura 1. Niveles de llenado medio de los tanques de reserva de agua potable del cantón Riobamba

3.2. Volumen de regulación en redes de distribución ciudad Riobamba





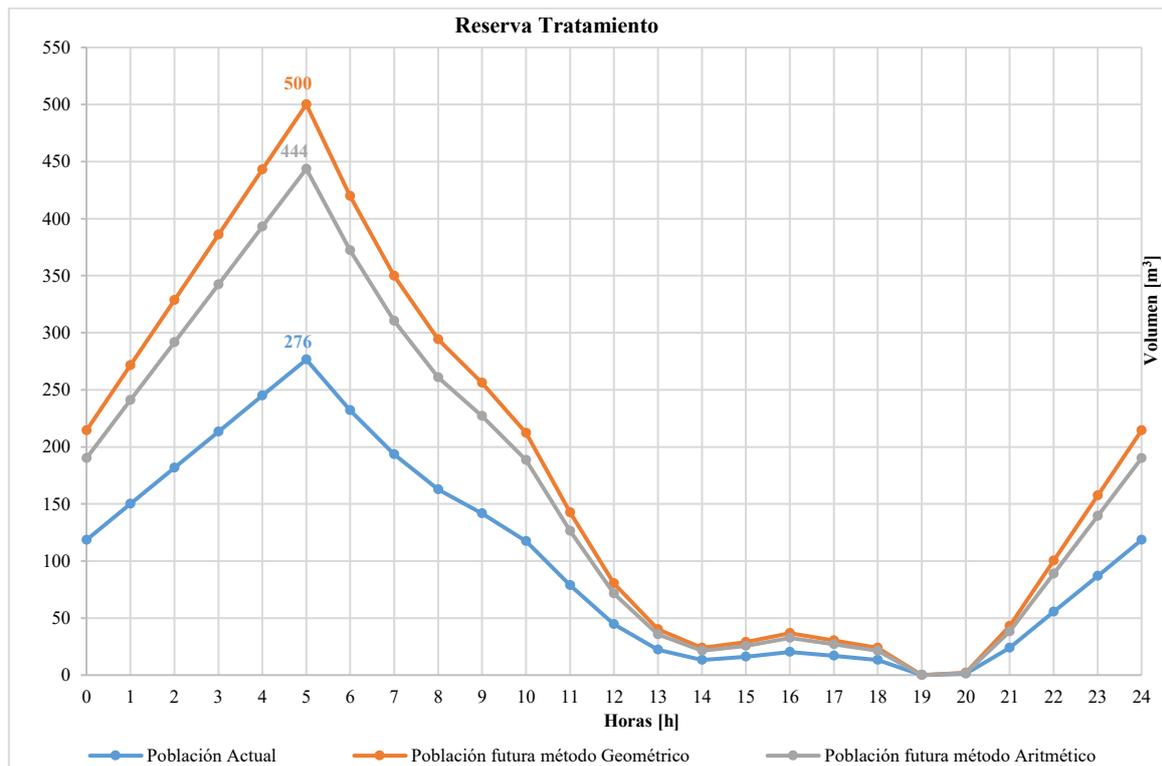


Figura 2. Volúmenes de regulación para las nueve reservas de agua potable del cantón Riobamba.

3.3. Volúmenes de protección contra incendios y volúmenes de emergencia

La Tabla 4 presenta los volúmenes de reserva para protección contra incendios y emergencias, calculados según la metodología descrita. El análisis de estos volúmenes en las distintas redes de distribución revela una correlación directa entre la población y la capacidad de reserva. Estos resultados subrayan la importancia de dimensionar las reservas de agua potable en función de la población atendida, asegurando un suministro adecuado en situaciones críticas. Además, se destaca la necesidad de estudios técnicos detallados para determinar los volúmenes óptimos de reserva, considerando factores como la densidad poblacional, las características de la red y los riesgos específicos de cada zona.

Tabla 4. Volumen de protección contra incendios y volumen de emergencia (Población actual y futura).

Reserva	Volumen contra incendios [m³]	Volumen de emergencia [m³]	Volumen contra incendios futuro [m³]	Volumen de emergencia futuro [m³]
Maldonado	669	694	764	911
Piscín	171	281	214	446
Saboya	856	936	988	1250
El Carmen	551	369	695	581
San José de Tapi	193	260	480	425
Yaruquíes	140	79	179	130
Recreo	143	186	193	324
Tratamiento	112	69	150	125
San Martín de Veranillo	549	528	642	721

3.4. Volumen total de almacenamiento

En la Figura 6 se muestra el volumen total de almacenamiento, que resulta de la suma del volumen de regulación, volumen de protección contra incendios y volumen de emergencia. Se revela un aumento generalizado en todas las reservas consideradas, lo que sugiere una planificación anticipada para el crecimiento poblacional y de la demanda. Este incremento es particularmente notable en reservas como Saboya, cuyo volumen de diseño futuro (7237 m³) supera su diseño actual (5534 m³). Es crucial destacar que estas reservas, además de satisfacer la demanda diaria, deben garantizar el suministro en situaciones críticas. En este sentido, la reserva Maldonado, con la mayor población (44703 habitantes) y los volúmenes de reserva para incendios (669 m³) y emergencias (694 m³) más altos, también presenta un aumento significativo en su volumen de almacenamiento de diseño futuro (5319 m³ vs. 4139 m³). Este resultado subraya la importancia de integrar las proyecciones de crecimiento poblacional con las necesidades de almacenamiento, tanto para el consumo regular como para eventos excepcionales. La correlación entre población, volúmenes de reserva para emergencias y la capacidad de almacenamiento total evidencia la necesidad de un enfoque integral en la planificación de sistemas de agua potable.

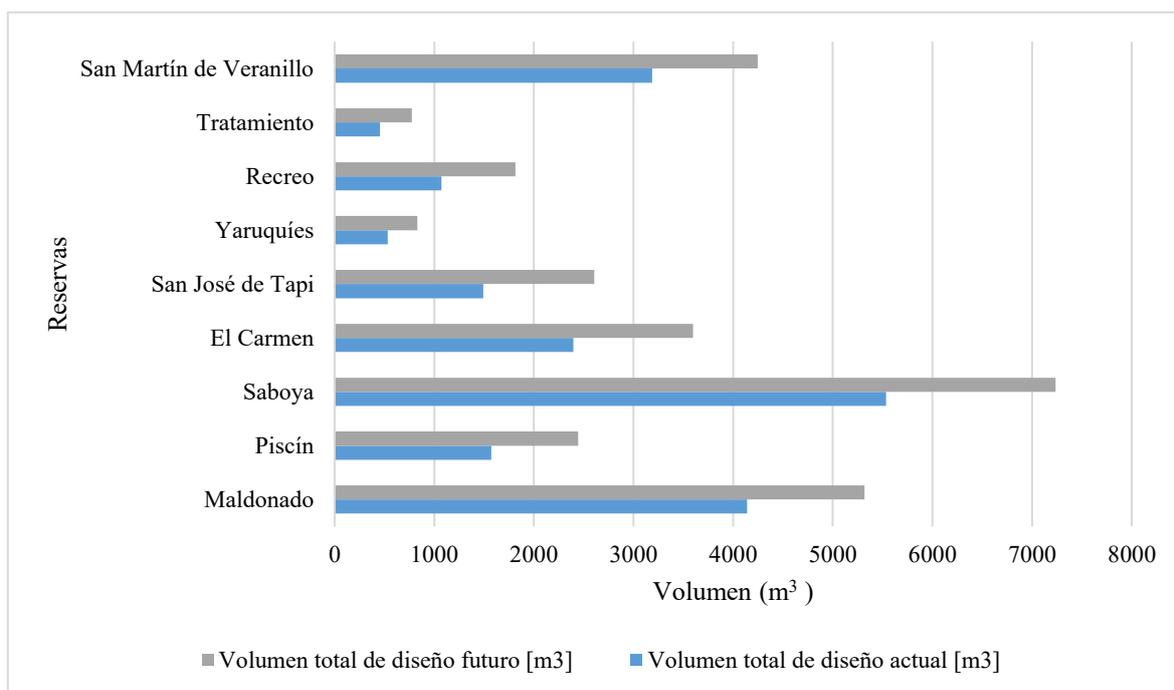


Figura 6. Volúmenes diseño futuro para las nueve reservas de agua potable del cantón Riobamba.

3.5. Análisis de volúmenes de diseño vs volúmenes existentes en el cantón Riobamba

En la Tabla 7 se indica el volumen actual de almacenamiento disponible en cada reserva y los volúmenes obtenidos en función de los Kh, para la población actual y 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.

Tabla 7. Análisis comparativo de volúmenes de almacenamiento existentes vs volúmenes de diseño.

Reserva	Volumen existente [m ³]	Volumen de diseño población actual [m ³]	Cumple [Si/No]	Volumen de diseño población futura [m ³]	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
Yaruquíes	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

4. Discusión

Una gestión eficiente de los recursos hídricos requiere una infraestructura moderna para asegurar un suministro permanente y minimizar su desperdicio. Sin embargo, enfrenta diversos desafíos, como el envejecimiento de sistemas que comprometen la eficiencia del sistema y contribuyen al aumento de pérdidas significativas de agua [11]. La falta de un control eficiente en el sistema de bombeo actual hace que el desperdicio de agua sea inevitable [12]. Los tanques de reserva del cantón Riobamba evidencia la necesidad de implementar sistemas de control automatizados que permitan ajustar en tiempo real la distribución de agua potable en función de la variación de la demanda de la población y garantizar el proceso de renovación en los tanques de almacenamiento. Es necesario implementar un sistema automatizado de control y monitoreo para tanques de agua, diseñado para gestionar el nivel de llenado y optimizar el consumo energético según las necesidades específicas del abastecimiento de agua potable [13].

Los resultados obtenidos indican que, en la actualidad, el cantón Riobamba no enfrenta un desabastecimiento generalizado de agua potable. Las redes de distribución Maldonado, Piscín, Saboya. Si bien se observa que no existe un desabastecimiento general para la población actual, es crucial destacar que la reserva San Martín de Veranillo aún no está en funcionamiento. Esta red, requiere un volumen de almacenamiento de 3188 m³, está siendo abastecida actualmente por la reserva Maldonado. Esta situación genera un déficit de agua potable en ambas redes, evidenciando que la reserva Maldonado no tiene la capacidad para cubrir simultáneamente la demanda de ambas.

Se evidenció una notable diferencia entre la capacidad de almacenamiento y los volúmenes de regulación necesarios para las redes de distribución de Yaruquíes y Tratamiento, respectivamente. Esta situación se asoció directamente con un número reducido de acometidas en ambas zonas, lo que también indicó una baja densidad de habitantes. Adicionalmente, los coeficientes de consumo máximo horario fueron relativamente pequeños y se encontraron dentro de los rangos establecidos por [7] con la excepción de la red Yaruquíes, que registró un único valor fuera de este rango a las 07h00, de 2.4. El análisis comparativo entre las redes Yaruquíes y Tratamiento con las otras siete redes del cantón reveló una clara tendencia: un mayor número de acometidas se correlacionó con mayores

volúmenes de regulación. Esto recalcó que los factores socioculturales, las fuentes económicas y la demografía influyeron en el dimensionamiento de los volúmenes de regulación, ya que los Kh de las otras redes fueron altos y sobrepasaron los parámetros establecidos por la norma, obteniendo así grandes volúmenes de regulación.

Las proyecciones realizadas mostraron un escenario preocupante para el año 2039, donde se proyectó desabastecimiento en siete de las nueve reservas de agua potable del cantón, dado que el volumen que requerirá la población será mayor que la capacidad de almacenamiento. Para hacer frente a esta problemática a largo plazo, fue necesario plantear una serie de acciones necesarias, tales como: actualizar el plan maestro de agua potable, fortalecer y mejorar la infraestructura existente del sistema de distribución, implementar nuevas reservas, buscar otras fuentes de captación, optimizar la gestión hídrica y disminuir las pérdidas en las redes de distribución. Se proyectó 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 requerirían volúmenes de almacenamiento, respectivamente. Esto generaría déficits 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 El Recreo y 247 m³ en la red San Martín de Veranillo. Para obtener un almacenamiento de agua a largo plazo, se logra con un equilibrio entre el suministro disponible y las extracciones realizadas. Este balance es crucial para evitar la sobreexplotación de los recursos hídricos, garantizando su disponibilidad tanto para las necesidades actuales como para las futuras generaciones [14].

[8] realizaron un estudio del consumo máximo horario en cuatro redes de distribución del cantón Riobamba. Los resultados indicaron que el pico de consumo se registra a las 07h00 en las redes: Maldonado; Piscín y Saboya, y a las 06h00 en la red de San Martín de Veranillo. El análisis de los niveles de llenado de estos tanques de reserva indica una disminución significativa durante las horas pico, especialmente en la reserva Maldonado que abastece a dos redes de distribución simultáneamente. Esta reserva experimentó una reducción de hasta el 60% de su capacidad, evidenciando la alta demanda y vulnerabilidad del sistema durante estos periodos de tiempo.

El estudio realizado por [9] en el cantón Riobamba sobre consumo horario residencial de agua potable, identificó que los picos de demanda se concentran en tres intervalos de tiempo: de 06h00 a 09h00, de 11h00 a 14h00 y de 18h00 a 21h00, en las redes de distribución de Tratamiento, San José de Tapi, El Recreo, El Carmen y Yaruquíes. Durante dichos periodos, se observa en las gráficas de niveles de llenado medio una reducción significativa en la capacidad de almacenamiento de los tanques de reserva. Para garantizar un suministro continuo en las horas de mayor demanda, los operadores implementan estrategias de reserva, cerrando las válvulas de salida durante los periodos de menor consumo, esto permite acumular el volumen necesario para cubrir las solicitudes de mayor consumo. Se considera el cierre de válvulas debido a fugas de fondo que podrían presentar las redes de distribución [15].

La relación entre el coeficiente de consumo máximo horario (Kh) y los volúmenes de almacenamiento es directa y significativa: las redes con Kh elevados, que indican picos de consumo intensos, requieren volúmenes de almacenamiento sustanciales para garantizar el

suministro durante las horas de máxima demanda, como se observa en redes como Maldonado, Saboya, El Carmen y San Martín de Veranillo; por el contrario, redes con Kh bajos, como la red de Tratamiento, presentan volúmenes de almacenamiento menores debido a picos de consumo menos pronunciados. Por lo tanto, el diseño eficiente y confiable de los sistemas de agua potable demanda una consideración simultánea del Kh y el volumen de almacenamiento, asegurando así la capacidad de respuesta ante las variaciones en la demanda.

La presencia de volúmenes residuales al finalizar el ciclo operativo indica un desajuste entre la demanda y la capacidad de almacenamiento. Atribuible a patrones de la demanda estocásticos vinculados directamente a los hábitos poblacionales [16]. Las disparidades en el acceso a servicios indispensables como el agua continúan siendo uno de los principales obstáculos para transformar los asentamientos informales urbanos en áreas más inclusivas y seguras para el desarrollo de la calidad de vida de sus habitantes [17]. El estudio realizado por Llanos [18], subraya la importancia de determinar los coeficientes reales de variación en el consumo de agua potable. Este conocimiento es crucial para optimizar la distribución del recurso hídrico, permitiendo un abastecimiento equitativo que priorice áreas periurbanas y nuevos asentamientos. Sin embargo, la confiabilidad de las ecuaciones (8) a (13) descritas en la metodología provenientes de [7], utilizadas para calcular los volúmenes de almacenamiento, es cuestionable debido a su posible desactualización. Esta discrepancia podría explicar por qué los volúmenes de almacenamiento actuales no satisfacen la demanda real.

La calidad de agua se ve influenciada significativamente por factores críticos como: la proliferación de algas (identificables por pigmentos como los carotenoides y clorofila); la acumulación de sedimentos en suspensión (asociados a parámetros de turbidez); la colonización de microorganismos patógenos (bacterias, virus) y concentración de sustancias orgánicas [19]. Las gráficas de niveles de llenado medio destacan la presencia de volúmenes residuales con tiempos de retención prolongados al finalizar el ciclo operativo, esto compromete la integridad microbiológica y fisicoquímica del recurso, porque promueve la acumulación de sedimentos, la proliferación de bacterias y la formación de biopelículas adhesivas en las superficies internas de almacenamiento. El agua contaminada representa una amenaza directa a la salud pública, al facilitar la transmisión de patógenos o enfermedades [20]. El riesgo de contaminación se incrementa exponencialmente en países en desarrollo debido a: ausencias de normativas, escasa atención al monitoreo de la calidad de agua, infraestructura obsoleta y limitaciones presupuestarias [21]. Dado que la entidad encargada realiza la operación y el mantenimiento de las reservas cada seis meses, es crucial analizar la calidad de las redes de distribución. Un indicador clave para este análisis es la presencia de tanques que no se vacían por completo.

5. 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, hábitos,

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 [7] 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 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 m³, mientras que su capacidad de almacenamiento es de 5000 m³, 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.

La presente investigación subraya la urgencia de implementar una planificación estratégica a largo plazo para la gestión sostenible de los recursos hídricos en el cantón. Las proyecciones indicaron un posible desabastecimiento de agua potable para el año 2039, con un déficit crítico en 7 de las 9 reservas de almacenamiento, lo que comprometería la satisfacción de la demanda poblacional futura. Ante la proyección de desabastecimiento de agua potable para 2039 y el déficit crítico en las reservas de almacenamiento en Riobamba, esta investigación recomienda enfáticamente la implementación inmediata de medidas de gestión a corto plazo. Estas incluyen: la optimización de la infraestructura existente para minimizar pérdidas por fugas, la gestión de la demanda a través de programas de concientización y la promoción de dispositivos ahorradores, la protección de cuencas hidrográficas mediante la conservación de ecosistemas, la inversión en tecnología de monitoreo y control para una gestión eficiente, y la creación de un plan de gestión integral con la participación activa de todos los actores relevantes. Además, se sugiere el fomento de

la investigación para desarrollar estrategias innovadoras en la gestión del agua. La implementación de estas medidas, junto con una planificación estratégica a largo plazo, permitirá mitigar el riesgo de desabastecimiento y asegurar la sostenibilidad hídrica en Riobamba.

Contribución de los Autores

Conceptualización, M.G.Z.; metodología, M.G.Z. y C.I.; validación, C.M.; análisis formal, B.S.; investigación, M.G.Z. y B.S.; curación de datos, B.S.; redacción—preparación del borrador original, M.G.Z. y B.S.; redacción—revisión y edición, C.I. y C.M.; supervisión, M.G.Z. y C.I. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Conflicto de Interés

Los autores manifiestan que no existe ningún tipo de conflicto de interés, ya sea, financiero, personal o académico, que pueda influir en los resultados y conclusiones de este estudio.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa

En la preparación de este artículo, se utilizó Gemini para corrección gramatical y de signos de puntuación. Todo el contenido fue revisado y aprobado por los autores.

Referencias

- [1] S. E. Martinez, O. Escolero, y L. Wolf, "Total Urban Water Cycle Models in Semiarid Environments-Quantitative Scenario Analysis at the Area of San Luis Potosi, Mexico", *Water Resources Management*, vol. 25, núm. 1, pp. 239–263, ene. 2011, doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9697-6>.
- [2] J. Wang, C. Zha, W. Wang, G. Chen, y L. Liu, "Simulation-based optimization of urban water storage tank operations: Balancing hydraulic stability, water quality, and energy conservation", *Journal of Water Process Engineering*, vol. 71, p. 107162, mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107162>.
- [3] GAD Riobamba, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial", Riobamba, núm. 622, pp. 348–358, 2019.
- [4] EP EMAPAR, "Plan de desarrollo y ordenamiento territorial", Riobamba, núm. 309, pp. 64–82, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.epemapar.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/plandesarrollocantonal.pdf>. [Consultado: 25 de septiembre de 2024]
- [5] A. Arellano y D. Peña, "Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable", *Novasinerгия*, vol. 3, núm. 1, pp. 27–36, 2020, doi: <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>.
- [6] J. Saire, "Evaluación de los coeficientes de variación de consumo horario y diario en las líneas de interconexión de los reservorios del sistema Vilcanota-Cusco", tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Cusco, 2015, [En línea]. Disponible en: 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. [Consultado: 7 de octubre de 2024].
- [7] INEN CPE5, "Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes", 1992. [En línea]. Disponible en: www.pdfactory.com

- [8] L. Alulema y H. Estrada, "Estudio del consumo horario residencial de agua potable en las redes Saboya; Veranillo; Maldonado; Piscín de la ciudad de Riobamba.", tesis, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10919>. [Consultado: 26 de junio de 2024]
- [9] J. Avalos y G. Oleas, "Estudio del comportamiento horario residencial de agua potable en el cantón Riobamba.", tesis, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2023, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11164>. [Consultado: el 26 de junio de 2024]
- [10] Organización Panamericana de la Salud (OPS), "Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable", Lima, 2005. [En línea]. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005c%20Revervorios%20elevados.pdf. [Consultado: 4 de noviembre de 2024]
- [11] H. Shemer, S. Wald, y R. Semiat, "Challenges and Solutions for Global Water Scarcity", *Membranes*, vol. 6, num. 1, pp. 612, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/membranes13060612>.
- [12] S. C. Olisa, C. N. Asiegbu, J. E. Olisa, B. O. Ekengwu, A. A. Shittu, y M. C. Eze, "Smart two-tank water quality and level detection system via IoT", *Heliyon*, vol. 7, núm. 8, p. e07651, ago. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07651>.
- [13] M. Kalamani, S. B. Sakthi Sri, G. G. Sukan, S. R. Edward Bensteve, y P. Rajkumar, "Automation of water tank management system for residential Areas", *Mater Today Proc*, vol. 62, pp. 2388–2391, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.981>.
- [14] Y. Ban et al., "Intensification of water scarcity threatens future food security in northwestern China", *J Hydrol Reg Stud*, vol. 58, p. 102177, abr. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102177>.
- [15] H. P. Estrada Vizuete, "Design of the Potable Water System for the Parish of El Rosario, Canton Guano, Province of Chimborazo, Ecuador." tesis, Universitat Politècnica de València, Valencia, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/120454>
- [16] A. Arellano, A. Bayas, A. Meneses, y T. Castillo, "Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes", *Novasinergia*, vol. 1, núm. 1, pp. 23–32, jun. 2018, doi: <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>.
- [17] I. K. Tumwebaze et al., "Access to and factors influencing drinking water and sanitation service levels in informal settlements: Evidence from Kampala, Uganda", *Habitat Int*, vol. 136, p. 102829, jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102829>.
- [18] D. Llanos, "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", tesis, Universidad Privada de Tacna, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1865>
- [19] M. K. Srivastava, S. Gaur, A. Ohri, P. K. Srivastava, y N. Singh, "Applications of remote sensing in water quality assessment", *Remote Sensing in Precision Agriculture*, pp. 217–236, ene. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91068-2.00019-9>.
- [20] L. Lin, H. Yang, y X. Xu, "Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review", *Front. Environ. Sci.*, vol. 10, jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>.
- [21] B. J. Singh, A. Chakraborty, y R. Sehgal, "A systematic review of industrial wastewater management: Evaluating challenges and enablers", *J Environ Manage*, vol. 348, p. 119230, dic. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119230>.