



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 de los cantones Guamote y Guano”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniería Civil

Autor:

Salazar Saltos, Dennys Andersson

Tutor:

Msc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Dennys Andersson Salazar Saltos**, con cédula de ciudadanía **0605363936**, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: **“Influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano”**, 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, 26 de noviembre de 2024.



Dennys Andersson Salazar Saltos

C.I: 0605363936

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 de los cantones Guamote y Guano”**, bajo la autoría de **Dennys Andersson Salazar Saltos**; 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 13 días del mes de noviembre de 2024.



Msc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

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 de los cantones Guamote y Guano”**, presentado por **Dennys Andersson Salazar Saltos**, con cédula de identidad número **0605363936**, 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 26 de noviembre de 2024.

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Jéssica Paulina Brito Noboa
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **SALAZAR SALTOS DENNYS ANDERSSON** con CC: **0605363936**, estudiante de la Carrera de **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 DE LOS CANTONES GUAMOTE Y GUANO**", cumple con el 8 %, 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, 18 de noviembre de 2024



Ing. María Zuñiga Msc.
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Como dijo Ed Sheeran: “Un éxito sin nadie con quien compartirlo, es un éxito vacío”, por eso, dedico este logro con profundo agradecimiento a mis padres, Juan Salazar y Maruja Saltos, quienes con su amor incondicional y apoyo constante me han brindado la fortaleza necesaria para cada paso que he dado. A mis hermanos Juan Jose y Jonathan, a mis sobrinos Juan Jose, Felipe y Valentina y mi cuñada Catherine que son los pilares esenciales en mi vida, cuyo cariño y aliento han sido una fuente de inspiración diaria, agradezco sus sabios consejos y su constante motivación, que me han guiado y ayudado a alcanzar este importante logro.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutora, la Ing. Gabriela Zuñiga, por su dedicación, paciencia y valiosa orientación durante todo el proceso de esta investigación.

Extiendo mi gratitud a todos mis maestros, quienes, con su enseñanza y sabiduría, han contribuido significativamente a mi formación académica.

A mis amigos Bayron, Oscar y Kevin, gracias por estar a mi lado en cada etapa de este recorrido, compartiendo alegrías y brindándome ánimo en los momentos más difíciles. Su apoyo y amistad incondicional han hecho de este viaje una experiencia más gratificante e inolvidable.

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	15
1.1 Zona de Estudio	16
1.1.1 Guamote	16
1.1.2 Guano	18
1.2 Antecedentes	21
1.2.1 Guamote	21
1.2.2 Guano	23
1.3 Planteamiento del Problema	24
1.4 Objetivos	25
1.4.1 General	25
1.4.2 Específico	25
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	26
2.1 Conceptos Generales	26
2.1.1 Agua Potable	26
2.2 Dotación o Consumo Per Cápita	26
2.3 Variaciones de Consumo	26
2.4 Caudal de Diseño	26
2.4.1 Caudal Medio Diario (Qmd)	26
2.4.2 Caudal Máximo Horario (Qmh)	27
2.4.3 Coeficiente de Consumo Máximo Horario (Kh)	27
2.5 Curva De Consumo Diario	27

2.5.1 Coeficiente de Modulación Horario	28
2.6 Tanques de Almacenamiento	28
2.7 Niveles de llenado	28
2.7.1 Nivel de llenado máximo y mínimo	28
2.8 Estado del Arte	28
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.	33
3.1 Tipo de Investigación	33
3.2 Esquema Metodológico	33
3.3 Técnicas de Recolección de Datos	34
3.4 Población de Estudio y Tamaño de la Muestra	34
3.4.1 Población	34
3.4.2 Muestra	35
3.5 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos	35
3.5.1 Análisis, validación y corrección de los Coeficientes de Consumo Máximo Horario (kh) ..	35
3.5.1.1 Tabulación de datos	35
3.5.1.2 Validación de datos	35
3.5.2 Procesamiento y análisis de datos para la caracterización de los tanques de reserva.	36
3.5.3 Procesamiento y análisis de datos para la recolección de datos en campo de los niveles de agua potable en los tanques de reserva.....	36
3.5.3.1 Tabulación de datos	36
3.5.3.2 Análisis estadístico.	37
3.5.4 Diseño del volumen del tanque de reserva.	37
3.5.4.1 Volumen de regulación.	37
3.5.4.2 Caudal medio de la red.	38
3.5.4.3 Consumo diario de la red.	38
3.5.4.4 Caudal de entrada.	39
3.5.4.5 Caudal de salida.....	39
3.5.4.6 Volumen inicial.....	39
3.5.4.7 Volumen final.	40
3.5.4.8 Volumen de protección contra incendios.	40
3.5.4.9 Volumen de emergencia.	41
3.5.4.10 Altura libre.	41
3.5.4.11 Volumen total.....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1 Caracterización de los tanques de reserva y coeficientes máximos horario por redes.....	42

4.1.1 Guamote.....	42
4.1.2 Guano.....	46
4.2 Coeficientes kh máximos por redes	51
4.3 Niveles de llenado y vaciado de los tanques de reserva.	51
4.4. Volumen de Regulación de los Tanques de Reserva por Redes.....	55
4.4.1 Guamote.....	55
4.4.2 Guano.....	60
4.5 Volumen total de los tanques de reserva por redes.....	64
4.6 Comparación del volumen de reserva de los tanques de reserva diseñado con los coeficientes máximos horarios vs el volumen actual de los tanques de reserva.....	65
4.7 Discusión	66
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	69
5.1 Conclusiones	69
5.2 Recomendaciones.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación y volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guamote	17
Tabla 2 Ubicación y caudales de las vertientes del cantón Guamote	18
Tabla 3 Ubicación y volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guano.....	20
Tabla 4 Ubicación y caudales de las vertientes del cantón Guano.....	21
Tabla 5 Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red San Juan Bajo.	52
Tabla 6 Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red San Juan Alto.....	52
Tabla 7 Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red Carapungo.	52
Tabla 8 Niveles en porcentaje de agua potable en los tanques de reserva del cantón Guamote.	53
Tabla 9 Niveles promedio de agua potable en los tanques de reserva del cantón Guamote	54
Tabla 10 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red San Juan Bajo.	55
Tabla 11 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red San Juan Alto.	57
Tabla 12 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Carapungo.	58
Tabla 13 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red La Inmaculada.	60
Tabla 14 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Lluishi.	61
Tabla 15 Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Barrios Altos.	63
Tabla 16 Volumen total de los tanques de reserva por redes de los cantones Guamote y Guano.	64
Tabla 17 Volumen de los tanques de reserva diseñados con los kh vs volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guamote.	65
Tabla 18 Volumen de los tanques de reserva diseñados con los kh vs volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guano.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la zona de estudio en Guamote.	16
Figura 2 Ubicación y volumen de los tanques de reserva del cantón Guamote.	17
Figura 3 Ubicación de la zona de estudio en Guano.	19
Figura 4 Ubicación y volumen de los tanques de reserva del cantón Guano.	20
Figura 5 Curva de consumo máximo horario.	27
Figura 6 Esquema metodológico de la investigación.....	33
Figura 7 Tanque de reserva rectangular de la red San Juan Bajo.	42
Figura 8 Tanque de reserva circular de la red San Juan Bajo.	43
Figura 9 Tanque de reserva rectangular de la red San Juan Alto.	44
Figura 10 Tanque de reserva rectangular de la red Carapungo.	44
Figura 11 Coeficientes máximos de consumo horario red San Juan Bajo.	45
Figura 12 Coeficientes máximos de consumo horario red San Juan Alto.	46
Figura 13 Coeficientes máximos de consumo horario red Carapungo.	46
Figura 14 Tanque de reserva circular de la red La Inmaculada.	47
Figura 15 Tanque de reserva circular de la red Lluishi.	48
Figura 16 Tanque de reserva rectangular de la red Barrios Altos.	49
Figura 17 Coeficientes máximos de consumo horario red La Inmaculada.	50
Figura 18 Coeficientes máximos de consumo horario red Lluishi.	50
Figura 19 Coeficientes máximos de consumo horario red Barrios Altos.	50
Figura 20 Coeficientes kh máximos por redes de los cantones Guamote y Guano.	51
Figura 21 Variación del volumen de regulación de la red San Juan Bajo.	56
Figura 22 Variación del volumen de regulación de la red San Juan Alto.	58
Figura 23 Variación del volumen de regulación de la red Carapungo.	59
Figura 24 Variación del volumen de regulación de la red La Inmaculada.	61
Figura 25 Variación del volumen de regulación de la red Lluishi.	62
Figura 26 Variación del volumen de regulación de la red Barrios Altos.	64

RESUMEN

En la actualidad el crecimiento poblacional, la expansión urbana y el cambio climático han generado grandes desafíos para garantizar un suministro continuo de agua potable. Se requieren entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para cubrir las necesidades básicas. Los tanques de reserva son esenciales para regular la presión en los sistemas de agua potable y asegurar volúmenes de reserva según las variaciones de consumo. Por ende, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de los tanques de reserva en los cantones Guamote y Guano. Se validaron los coeficientes máximos horarios de investigaciones anteriores realizadas en los cantones Guamote y Guano, se recolectaron datos sobre las características de las redes y los tanques de reserva, se registraron los niveles de agua potable en los tanques de reserva durante 7 días en tres diferentes horarios y el diseño del volumen de regulación necesario de los tanques de cada red. Se obtuvo como resultado que los valores de kh máximos sobrepasan el rango establecido en la norma CPE INEN 5 (1992) .En Guamote, los niveles de agua en los tanques oscilan entre un mínimo de 38% a 49% y un máximo de 83% a 90%, mientras que en Guano los niveles se mantienen al 100%, con un sistema de desbordamiento que evacua el exceso de agua. En Guamote, las redes San Juan Bajo, San Juan Alto y Carapungo requieren volúmenes de regulación de $257m^3$, $102m^3$ y $61m^3$, respectivamente. En Guano los volúmenes de regulación requeridos para las redes La Inmaculada, Lluishi y Barrios altos son $155m^3$, $317m^3$ y $96m^3$, respectivamente. Los resultados indican que los coeficientes kh más altos se asocian a mayores caudales de consumo, por lo tanto, es necesario un mayor volumen en los tanques de reserva.

Palabras clave: agua potable, tanque de reserva, coeficiente máximo horario, variaciones de consumo, volumen de regulación.

ABSTRACT

Population growth, urban expansion, and climate change have created great challenges to ensure a continuous drinking water supply. Between 50 and 100 liters of water per person daily are required to cover basic needs. Reserve tanks are essential to regulate the pressure in drinking water systems and ensure reserve volumes according to consumption variations. Therefore, the present work aims to analyze the influence of the maximum hourly coefficient on the design of reserve tanks in the Guamote and Guano cantons. The maximum hourly coefficients of previous research carried out in the Guamote and Guano cantons were validated, data on the characteristics of the networks and reserve tanks were collected, and the levels of drinking water in the reserve tanks were recorded for 7 days at three different times and the design of the necessary regulation volume of the tanks of each network. The results showed that the maximum kh values exceed the range established in the CPE INEN 5 (1992) standard. In Guamote, the water levels in the tanks range from a minimum of 38% to 49% to a maximum of 83% to 90%. In comparison, in Guano, the levels are maintained at 100%, with an overflow system that evacuates the excess water. In Guamote, the San Juan Bajo, San Juan Alto, and Carapungo networks require regulation volumes of 257 m³, 102 m³, and 61 m³, respectively. In Guano, the regulation volumes needed for the La Inmaculada, Lluishi, and Barrios Altos networks are 155 m³, 317 m³, and 96 m³, respectively. The results indicate that higher coefficients are associated with higher consumption flow rates; therefore, a larger volume in the reserve tanks is necessary.

Keywords: drinking water, reserve tank, maximum hourly coefficient, consumption variations, regulation volume.



Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de agua potable están formados por una compleja estructura de tuberías, válvulas, tanques de almacenamiento, bombas y otros accesorios que trasladan el agua desde la planta de tratamiento hasta las acometidas domiciliarias de los usuarios.

Según Martínez et al. (2016) el aumento de la densidad poblacional y la dinámica de la expansión urbana, con una tendencia al crecimiento de las zonas urbanas y disminución de la población rural, hacen que las ciudades sean vulnerables en la tarea de satisfacer de servicios urbanos básicos. Para cubrir las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud se necesitan entre 50 y 100 litros de agua por persona al día (OMS, 2023).

El almacenamiento de agua brinda múltiples beneficios en los sistemas de agua potable ya que ayuda a regular la presión del sistema, abastecer de agua potable según las variaciones de consumo de la población y garantizar volúmenes de reserva en caso de emergencia. Sin embargo, su diseño y modos de funcionamiento pueden afectar en el abastecimiento y la calidad del agua distribuida.

Usualmente los tanques están sobredimensionados y no garantizan una adecuada mezcla y renovación del agua en su interior, lo que lleva a la formación de zonas de estancamiento con altos tiempos de residencia del agua (Grayman et al., 2004); además, cuando el agua permanece estancada, la calidad puede degradarse debido al aumento de la formación de subproductos de desinfección, el crecimiento de biopelículas, la acumulación de sedimentos, la pérdida de cloro residual y el recrecimiento de microorganismos (Clark et al., 1996). El sedimento que se deposita en los tanques puede albergar patógenos o metales que pueden liberarse en determinadas condiciones, y este sedimento crea la posibilidad de que se produzca un brote de enfermedades transmitidas por el agua (ASDWA, 2020).

Además, cuando no se considera las variaciones de consumo de la población para el diseño de los tanques de almacenamiento conlleva a una distribución desigual del agua, resultando en lugares con exceso de suministro y otras con déficit (ASDWA, 2020).

Por eso los tanques de almacenamiento deben diseñarse considerando las variaciones de consumo para mantener el agua en movimiento dentro del sistema (Monteiro et al., 2021);

aumentando la eficiencia en la operación y mantenimiento de los tanques de almacenamiento reduciendo los costos y evitando así la proliferación de enfermedades.

1.1 Zona de Estudio

1.1.1 Guamote

El cantón Guamote se encuentra situado en la parte central del callejón interandino, al sur de la provincia de Chimborazo, la cabecera cantonal se encuentra a 50km de la ciudad de Riobamba entre las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur: 754905,380E - 9786299,910N (GAD Municipal de Guamote, 2019).

Guamote está constituido por tres parroquias: una urbana llamada La Matriz donde se ubica la cabecera cantonal y dos rurales Cebadas y Palmira (GAD Municipal de Guamote, 2020).

La zona de estudio para el análisis será la parroquia urbana la Matriz específicamente a los tanques situados en la cabecera cantonal, como se muestra en la **Figura 1**.



Figura 1 Ubicación de la zona de estudio en Guamote.

Fuente. (Salazar, 2024).

A continuación, en la **Tabla 1** y **Figura 2** se detalla la ubicación y el volumen actual de los tanques.

Tabla 1

Ubicación y volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guamote.

Red de Distribución	Volumen del Tanque [m ³]	Forma	Sist. WGS84 Coordenadas UTM Zona 17S	Altura [m.s.n.m.]
San Juan Alto	200 m ³	Rectangular	753935,78E – 9785228,47N	3135,52
San Juan Bajo	250 m ³	Rectangular	754272,25E – 9784606,16N	3132,70
Carapungo	200 m ³	Circular	754261,79E – 9784613,68N	3132,70
	150 m ³	Rectangular	753529,03E – 9784415,04N	3134,96

Fuente. (GAD Municipal de Guamote, 2024).

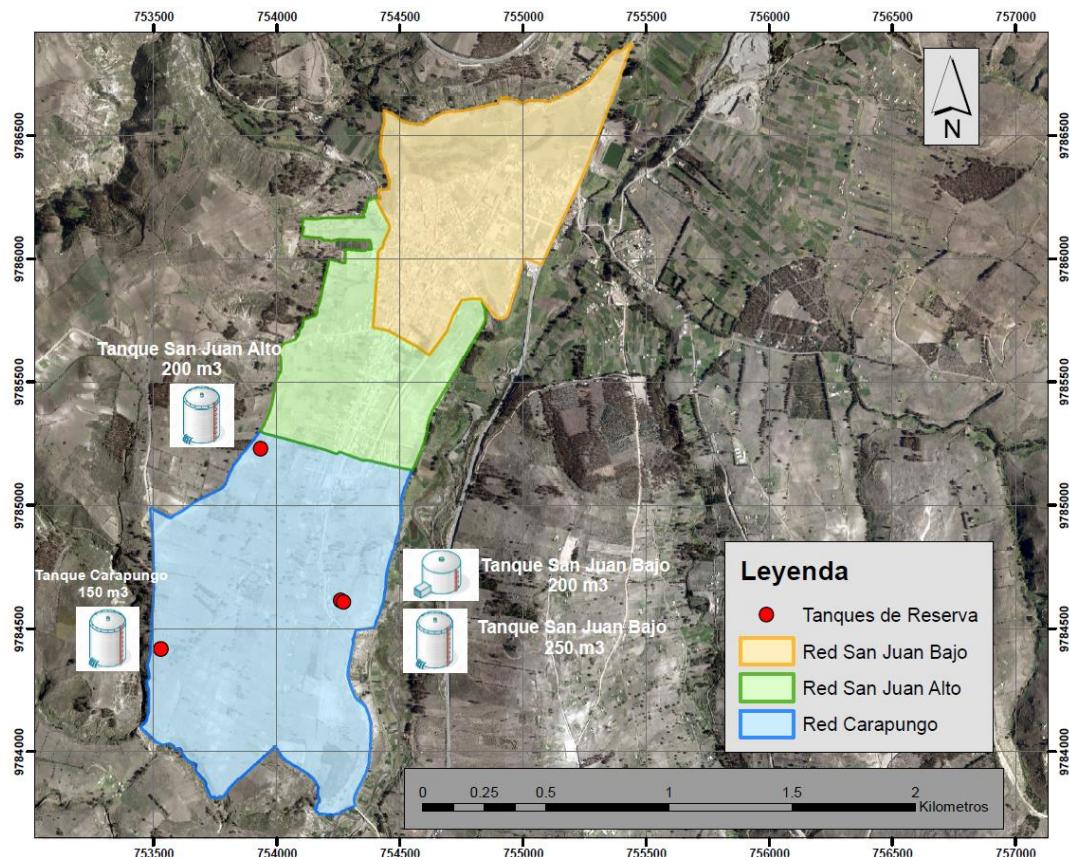


Figura 2 *Ubicación y volumen de los tanques de reserva del cantón Guamote.*

Fuente. (Salazar, 2024).

La Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guamote (GADMC Guamote), menciona que en la actualidad existen tres redes de distribución que cuentan cada uno con su tanque de reserva. El primero para la red de San Juan Alto es un tanque de hormigón armado rectangular semienterrado de una capacidad de 200 m³, que capta el agua de la fuente Chacaza Santa Rosa, el segundo para la red Carapungo es un tanque de hormigón armado semienterrado de 150 m³ que se encuentra en el sector Carapungo junto con la planta de tratamiento tipo paquete, la cual capta el agua de Ambato Pogio y Chipo Chico y la tercera para la red San Juan Bajo un tanque de hormigón armado circular de tipo superficial de 200 m³ de capacidad y otro tanque de hormigón armado semienterrado de 250 m³, que capta el agua de la fuente Chacaza Matiapanga.

En la **Tabla 2** se detalla la ubicación y los caudales de las vertientes donde se capta el agua potable para abastecer a la cabecera cantonal del cantón Guamote. Estos caudales son autorizados para su uso por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) en el año 2016 en base al proceso N°0087-2015-AT-DHP.

Tabla 2

Ubicación y caudales de las vertientes del cantón Guamote.

Nº	Vertiente	Sist. WGS84 Coordenadas UTM Zona 17S	Altura [m.s.n.m.]	Caudal [l/s]
1	Ambato Pogio	753778E - 9781210N	3139	7,14
2	Chipo Chico	753607E - 9782043N	3133	2,44
3	Totorillas	753293E - 9776604N	3210	6,5
4	Chacaza Santa Rosa	750298E - 9784503N	3469	2,81
5	Chacaza Matiapanga	750474E - 9784352N	3428	6,34
Caudal Total				25,23

Fuente. (GAD Municipal de Guamote, 2024).

1.1.2 Guano

El cantón Guano posee una extensión de 473,3 km² representando un 7% de la superficie provincial, geográficamente está ubicado en la serranía central del Ecuador, al noroeste de la provincia de Chimborazo, en las coordenadas UTM: 762043,586E – 9822152,649N (Llamuca & Vallejo, 2023).

El cantón Guano está conformado por 2 parroquias urbanas (La Matriz y El Rosario) y 9 parroquias rurales (Guanando, Ilapo, La Providencia, San Andrés, San Gerardo, San Isidro, San José de Chazo, Santa Fé de Galán y Valparaíso). Las parroquias urbanas representan el 19,4% del área cantonal y receptan el 38,5% de la población del cantón Guano. En el caso de las parroquias rurales la de mayor superficie y población es San Andrés que abarca el 35,07% de la superficie cantonal y el 31,8% de la población cantonal (GADM Guano, 2021).

La zona de estudio para el análisis será la parroquia urbana la Matriz específicamente a los tanques de almacenamiento de agua potable de la cabecera cantonal, como se muestra en la **Figura 3**.

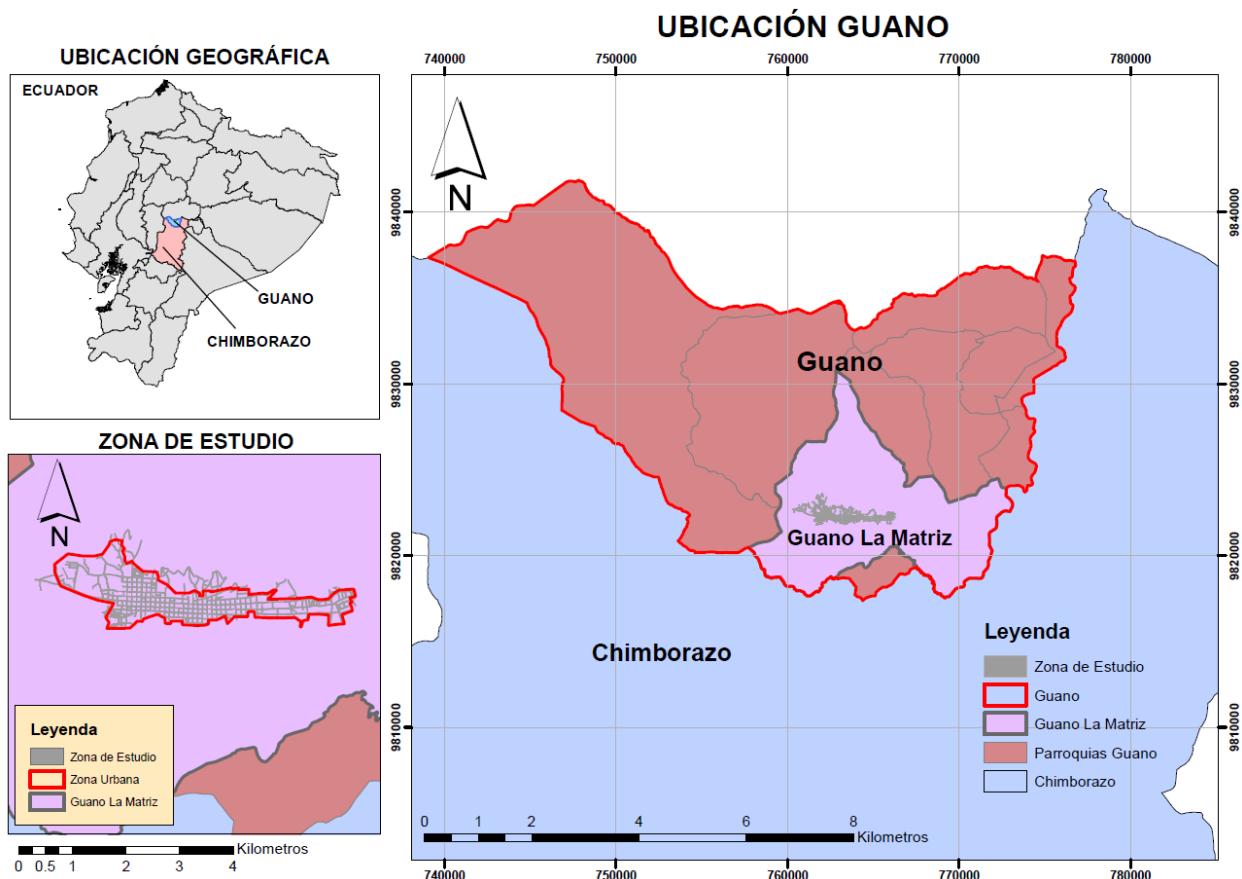


Figura 3 Ubicación de la zona de estudio en Guano.

Fuente. (Salazar, 2024).

A continuación, en la **Tabla 3** y **Figura 4** se detalla la ubicación y el volumen de los tanques.

Tabla 3

Ubicación y volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guano.

Red de Distribución	Volumen del Tanque [m ³]	Forma	Sist. WGS84 Coordenadas UTM Zona 17S	Altura [m.s.n.m.]
Barrios Altos	250 m ³	Rectangular	762099,66E – 9823469,57N	2859.33
Lluishi	300 m ³	Circular	761600,00E – 9822174,85N	2784.14
La Inmaculada	300 m ³	Circular	763138,31E – 9822362,17N	2704.50

Fuente. (GAD Municipal de Guano, 2024).

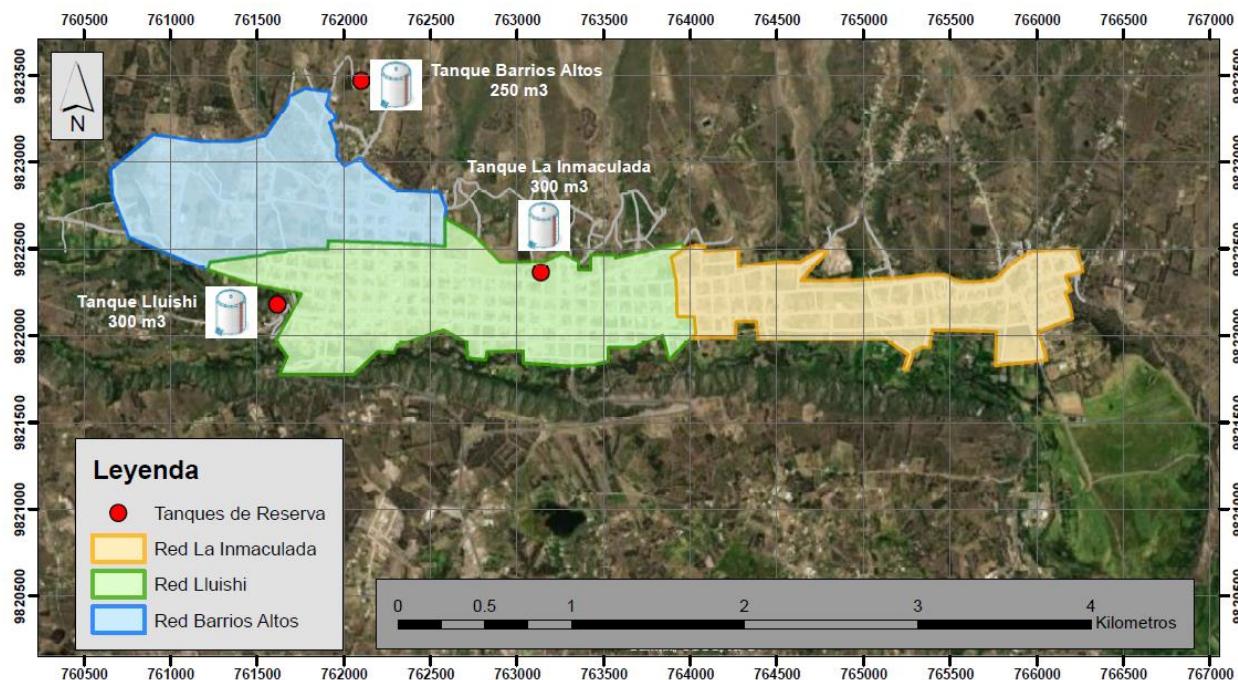


Figura 4 *Ubicación y volumen de los tanques de reserva del cantón Guano.*

Fuente. (Salazar, 2024).

En la actualidad el cantón Guano es abastecido por dos fuentes que son: La fuente los Guaycos ubicada en la parroquia San Andrés, que a 4 km tiene un tanque repartidor que abastece al tanque de reserva de Lluishi de 300 m³ para el centro de la población y al tanque de La Merced

de 250 m³, para los barrios altos de la ciudad. La fuente de Villagrán abastece al tanque de reserva de La Inmaculada de 300 m³ para los barrios bajos de la ciudad (GADM Guano, 2021).

En la **Tabla 4** se detalla la ubicación y los caudales de las vertientes donde se capta el agua potable para abastecer a la cabecera cantonal del cantón Guano. Estos caudales son autorizados para su uso por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) en el año 2014 en base al proceso N°7702-2012-C.

Tabla 4

Ubicación y caudales de las vertientes del cantón Guano.

N°	Vertiente	Sist. WGS84 Coordenadas UTM Zona 17S	Altura [m.s.n.m.]	Caudal [l/s]
1	Guayco 1	755973E-9824769N	2982	3,66
2	Guayco 2	755354E-9825048N	3020	6,7
3	Guayco 3	755287E-9825114N	3026	18,9
4	Villagrán	762081E-9821996N	2719	7,63
Caudal Total				36,89

Fuente. (GAD Municipal de Guano, 2024).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Guamote

El cantón Guamote posee una superficie total de 1221,8 Km² que representa el 18,5% del total de la provincia de Chimborazo, por su extensión territorial Guamote se constituye en el segundo cantón más extenso de la provincia. La cabecera cantonal se sitúa a una altitud promedio de 3500 m.s.n.m.; la temperatura promedio en Guamote varía entre los 9 a 10 °C (GAD Municipal de Guamote, 2019).

La principal actividad del cantón es la agricultura y ganadería seguido por servicios, comercio, construcción y manufactura. La migración influye de manera significativa en la composición demográfica y económica del cantón; existe una tendencia a trabajar fuera del cantón y de la provincia, actualmente inclusive fuera del país (AME, 2022).

La parroquia la Matriz en la cabecera cantonal consta de los siguientes barrios: San Juan Moraspamba(rural), Barrio San Juan Samborondón, Comité Central del Barrio Carapungo, Pro

Mejoras Mariana de Jesús. Bario San Juan Promejoras, Barrio San Juan Centro, Barrio 24 de Mayo, Barrio Los Palomos, Barrio Central, Barrio San Pedro, Comité Barrio la Victoria (GAD Municipal de Guamote, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el último censo realizado el 2022 determinó que el cantón Guamote tiene una población de 35769 habitantes con un 89,3 % de cobertura de agua potable y la parroquia La Matriz en la cabecera cantonal tiene una población de 3076 habitantes con una cobertura de 97,8 % de agua potable. Se evidenció que la población respecto al censo realizado en el 2010 presento un decrecimiento de 9384 habitante, debido a que la población en el 2010 era de 45153 habitantes.

En la cabecera cantonal la red está dividida en tres sectores, Carapungo, San Juan Alto y San Juan bajo, la cabecera cantonal se abastece de cinco captaciones, que son dirigidas a dos plantas de tratamiento de San Juan Alto y San Juan Bajo (Salazar, 2022).

Actualmente el área urbana del Cantón Guamote es abastecida con agua potable proveniente de 5 fuentes, estas son: Ambato Pogio, Chipo Chico, Chacaza Santa Rosa, Chacaza Matiapanga, Chipo Sacaguan; administradas por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado del GADM de Guamote, que abastecen a 1824 usuarios. En el año 2017 se inició la construcción del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y Pluvial, en el que se dotó a la cabecera cantonal de una planta tipo paquete para mejorar el tratamiento de 12 l/s de agua (GAD Municipal de Guamote, 2019).

En el cantón Guamote el Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado se ejecutó en el año 2017, sin embargo, no se modificaron los volúmenes de los tanques existentes construido en el 2007, solo se construyó un nuevo tanque de 150 m³ para la red de Carapungo. A los tanques existentes solamente les impermeabilizaron, pero actualmente en el exterior presentan pequeñas fisuras debido a que en el año 2027 cumplen su vida útil (GAD Municipal de Guamote, 2019). Esto implica que se deben construir nuevos tanques que estén diseñados acorde a la realidad actual, porque en este cantón se presenta un decrecimiento demográfico y esto influye directamente en el volumen necesario de los tanques de reserva.

1.2.2 Guano

Guano es conocida como la “Capital Artesanal del Ecuador” es un importante centro artesanal de tejidos de lana y manufactura, su especialidad es la elaboración de alfombras, la curtiembre y la confección manual de calzado, está ubicada al norte de la Provincia de Chimborazo, la cabecera cantonal está situada a diez minutos de la ciudad de Riobamba. Tiene una superficie de 473 km², y su rango de altitud va desde los 2000 hasta los 6310 msnm, lo que hace que posea una temperatura agradable cuyo promedio está entre los 16°C y 18°C (AME, 2022).

El cantón Guano cuenta con 11 parroquias, 2 Urbanas: La Matriz y el Rosario y 9 parroquias rurales: San Andrés, San Isidro, Ilapo, San Gerardo, Guanando, San José de Chazo, Santa Fe de Galán, La Providencia y Valparaíso (GADM Guano, 2021).

Las parroquias urbanas de La Matriz constan de los siguientes barrios: Espíritu Santo, La Dolorosa, La Inmaculada, La Magdalena, San Roque, Miraflores, San Pablo, San Pedro, Santa Ana y Santa Teresita. En la Matriz se encuentra emplazado el centro urbano cantonal, cuyo uso del suelo está dedicado principalmente a actividades residenciales, comerciales, turísticas, artesanales y de servicios públicos (GADM Guano, 2021).

En el cantón Guano, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano (GADMC Guano) se encarga de proveer el servicio básico de agua potable a través de la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado, debido a la topografía del sector, las captaciones se conducen por gravedad.

La Matriz, cuenta con un nuevo Plan Maestro de Agua Potable, con aproximadamente 3039 usuarios, su provisión viene de dos vertientes que son la fuente los Guaycos y la fuente de Villagrán las cuales abastecen de agua a los cuatro tanques de reserva que regulan y suministran a las tres zonas de la red de distribución que son la zona alta, zona media y zona baja (Zuñiga, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en el último censo realizado el 2022 estableció que el cantón Guano tiene una población de 48327 habitantes con un 93,7 % de cobertura de agua potable y la parroquia La Matriz en la cabecera cantonal tiene una población de 9136 habitantes con una cobertura de 98,8 % de agua potable. Con respecto al censo del 2010 la población presentó un crecimiento de 5476 habitantes, porque la población en el 2010 era de 42851 habitantes.

En el cantón Guano por otra parte se ejecutó el Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado en el año 2018, en el que se construyó un tanque de 200 m³ para la nueva red de Barrios Altos; para la red de Lluishi que es la red que tiene más habitantes estaba contemplado la construcción de un nuevo tanque de 300 m³ el cual no se construyó. Esto implica que en un corto plazo esta red presente un déficit de almacenamiento. Lo que implica la construcción de un nuevo tanque que este acorde a las necesidades de los usuarios debido al constante crecimiento demográfico del cantón (GADM Guano, 2021).

1.3 Planteamiento del Problema

El suministro continuo de agua potable es esencial para la vida, la salud, el desarrollo de las ciudades y el bienestar de las personas, debido a que el agua es indispensable para actividades cotidianas como cocinar, lavar e higiene personal, también para actividades más complejas como la industria, la agricultura e incluso para la generación de energía eléctrica.

La escasez de agua en las ciudades es un problema que afecta a millones de personas alrededor del mundo, debido a diferentes factores como el crecimiento de la población, cambio climático o que los sistemas de abastecimiento de agua potable no cumplen con la demanda de la población.

Esta investigación nace de la necesidad de analizar la continuidad del suministro de agua potable para los cantones Guamote y Guano, ya que existe zonas urbanas de la ciudad, las cuales no tienen un flujo continuo de agua, debido a que ciertos tanques de reserva no satisfacen la demanda, otros no se llenan a su máxima capacidad y otros exceden su capacidad.

Se sabe que uno de los grandes desafíos hídricos que se enfrenta a nivel global es dotar de agua potable a la población, debido al crecimiento demográfico acelerado y a las dificultades técnicas cada vez mayores que conlleva hacerlo. Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias (CONAGUA, 2019).

El problema central de esta investigación es la necesidad de determinar si los tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano, satisfacen la demanda del servicio, en función al coeficiente horario máximo de consumo.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Determinar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano.

1.4.2 Específico

- Identificar los niveles de llenado y vaciado de los tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano.
- 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 máximo horario.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Conceptos Generales

2.1.1 Agua Potable

Es el agua destinada para el consumo humano, debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades y de elementos o substancias que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales (INEN, 1992). El agua para el consumo humano es el agua utilizada para beber, preparar y cocinar alimentos u otros usos domésticos, el cual debe garantizar su inocuidad y aceptabilidad para el consumo humano (OMS, 2023).

2.2 Dotación o Consumo Per Cápita

Es el caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público (INEN, 1992); además se debe tomar en cuenta las pérdidas en la red de distribución (López, 2003).

2.3 Variaciones de Consumo

Según Arellano & Peña (2020) manifiestan que los factores que influyen en el consumo de agua se dividen en grupos como: socioeconómicos, climatológicos, sociodemográficos y la calidad de agua; además nos indica que en ciudades ecuatorianas cuando aumenta el número de habitantes por familia el consumo semestral de agua disminuye. Por eso se debe garantizar un diseño óptimo del sistema de abastecimiento de agua potable con el uso correcto de los coeficientes de variación diario y horario (INEN, 1992).

2.4 Caudal de Diseño

Es el caudal necesario para atender la demanda al final del período de diseño (INEN, 1992). El tanque de almacenamiento y sus estructuras anexas deben proveer el caudal máximo horario (QMH) previsto para el final del período de diseño (EMAAP Quito, 2007).

2.4.1 Caudal Medio Diario (Qmd)

Es el consumo diario de una población, obtenido en un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación (Magne, 2008).

2.4.2 Caudal Máximo Horario (Qmh)

Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. Se determina multiplicando el caudal máximo diario y el coeficiente kh (coeficiente máximo horario) que varía, según el número de habitantes (Magne, 2008).

2.4.3 Coeficiente de Consumo Máximo Horario (Kh)

Las variaciones de máximo consumo horario se definen como la hora en la que se alcanza el mayor consumo del día dentro de una serie de datos registrados durante un año. Este coeficiente se obtiene de la relación entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario (López, 2003).

2.5 Curva De Consumo Diario

Es una representación gráfica de las variaciones temporales del consumo de agua potable que depende en gran parte de las costumbres de los habitantes. Por lo general el eje de las abscisas de esta gráfica indica el tiempo en horas y el de las ordenadas el consumo en litros (Llamuca & Vallejo, 2023). Es muy útil para determinar el caudal que se debe almacenar y suministrar a la red de distribución. A partir de la curva de variación horaria se puede definir la curva integral o curva de masa, utilizando los valores de consumo acumulado en un período de 24 horas (López, 2003).

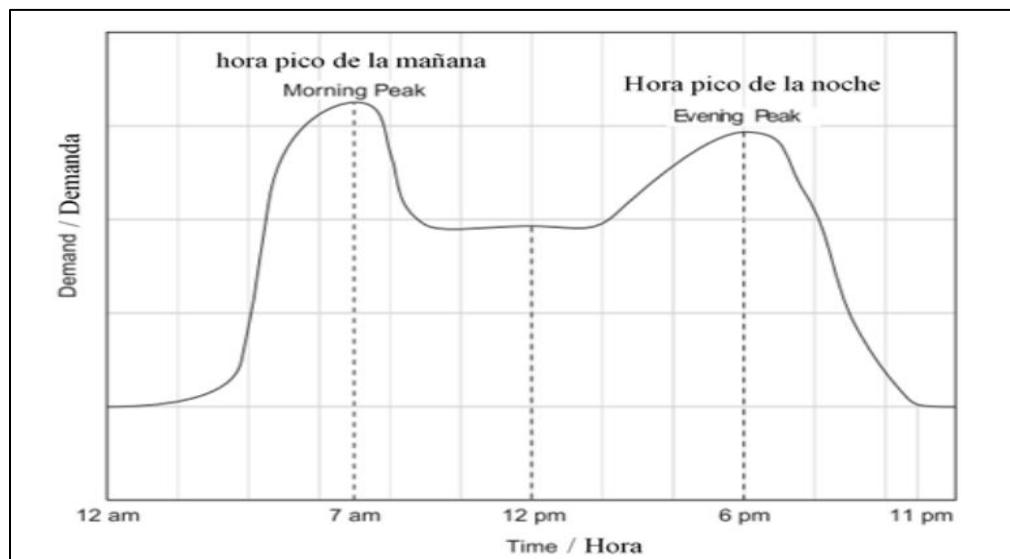


Figura 5 Curva de consumo máximo horario.

Fuente. (Caiza, 2019).

2.5.1 Coeficiente de Modulación Horario

El coeficiente de modulación horario permite analizar el funcionamiento del sistema de agua potable y se obtiene dividiendo el caudal horario para el caudal medio (INEN, 1992).

2.6 Tanques de Almacenamiento

Es un depósito cerrado en el cual se mantiene una provisión de agua suficiente para cubrir las variaciones horarias de consumo, la demanda para combatir incendios y la demanda de agua durante emergencias (INEN, 1992). Además, tiene la función de regular la presión adecuada en el sistema de distribución (Agüero, 2004). El volumen de regulación corresponde al producto del volumen diario de la demanda media, al final del período de diseño, por el coeficiente de compensación obtenido de la curva de variación horaria de la demanda (EMAAP Quito, 2007).

2.7 Niveles de llenado

Hace referencia a la cantidad de agua que se introduce o se almacena en los tanques de reserva, se busca que los niveles de llenado sean óptimos para garantizar la dotación continua del servicio de distribución (Agüero, 2004).

2.7.1 Nivel de llenado máximo y mínimo

El nivel de llenado máximo es la cantidad máxima de agua que se almacena en los tanques, para evitar que el agua de los tanques rebose. Los niveles de llenado mínimo es la cantidad mínima que se almacena en los tanques de reserva para asegurar un suministro continuo del servicio, por lo general se establece un 20% y 30% de la capacidad total del tanque (Agüero, 1997).

2.8 Estado del Arte

Estudios recientes estiman que más de 2000 millones de personas viven en países con escasez de agua, esto como resultado del cambio climático y el crecimiento poblacional. Se necesitan cantidades suficientes de agua salubre para practicar una buena higiene, que es fundamental para prevenir enfermedades (OMS, 2023).

En la ciudad de Bogotá, Colombia se realizó una investigación donde se determinaron los consumos reales de un total de 1233 usuarios residenciales, analizando el consumo neto per cápita de agua en 4 zonas de la ciudad; como resultados se pudo observar valores muy estables y parecidos en los 7 días de la semana obteniendo valores máximos el lunes de 140 l/hab/día, los

otros días entre 120-125 l/hab/día a excepción del domingo con 117 l/hab/día (Garzón & Ortiz, 2014).

Se realizó un estudio en la ciudad de Tacna, Perú sobre los valores reales de los coeficientes de variación diaria y horaria, como resultado se encontró un coeficiente de variación diario k_1 de 1,35 estableciendo que esa zona requiere de una mayor demanda diaria debido a que sobrepasa el valor de la norma de 1,30; mientras que el coeficiente horario k_2 fue de 1,83 mismo que se encuentra en el rango establecido de 1,8 - 2,5 estos resultados son factores importantes para optimizar diseños y obtener obras de agua potable de calidad y eficientes (Llanos, 2021).

En un estudio realizado en ciudad del Carmen, Campeche, México se evidenció que la población tenía un déficit de 365 l/s de agua potable pese a que cuenta con 13 tanques de regularización de los cuales 8 no están activados por falta de mantenimiento. Mediante una simulación con el programa EPANET considerando dos posibles contextos; un modelo de simulación sin 5 tanques de regulación y el segundo modelo con los 5 tanques de regulación activados ubicados en las zonas que presentan mayor problema de suministro; obteniendo como resultado que, mediante la activación de los tanques, la distribución del caudal dentro de la red de suministro de agua potable supera a la demanda base (Elvira, 2011).

En la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México se analizó a los tanques de regularización como una alternativa de solución al servicio intermitente de agua potable, donde se evidenció que la deficiencia se debe a diversos factores como el crecimiento descontrolado de los asentamientos humanos, mantenimiento inadecuado, falta de monitoreo de las redes, interrupción de la energía eléctrica. Obteniendo como resultado que la forma de operar los equipos provoca la subutilización de los tanques de regularización. Además, establecer las curvas de variación horaria de la zona de influencia de esa permite determinar el volumen regulado en la operación de los tanques de regulación (Mena et al., 2015).

El consumo de agua potable y las dotaciones seleccionadas para los sistemas de abastecimiento son factores importantes en la planificación y diseño de infraestructuras de agua potable. Las investigaciones realizadas por Arellano et al. (2012) titulado "Método de caracterización urbanística y socioeconómica para poblaciones menores que 150.000 habitantes" y Arellano et al. (2018) titulado "Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150.000 habitantes", realiza un análisis sobre cómo han evolucionado

estos parámetros en diversas poblaciones ecuatorianas. Es fundamental comprender las necesidades actuales para poder proyectar las necesidades futuras de la población; además se encontró que existe diferencias en el consumo en los diferentes estratos económicos, por lo que se evidenció que las ciudades más grandes tienden a tener un consumo per cápita residencial menor, posiblemente debido a que los residentes pasan más tiempo fuera de sus hogares. Por último, se identificó que existe un subdimensionamiento en la dotación en poblaciones entre 8000 y 30000 habitantes, lo que sugiere la actualización de la normativa vigente.

El estudio de Arellano & Peña (2020) se centra en el desarrollo de modelos de regresión lineal múltiple para predecir el consumo de agua potable en el sector residencial de varias ciudades ecuatorianas. La investigación considera un conjunto de variables independientes agrupadas en cuatro categorías: sociodemográficas, socioeconómicas, de gestión y calidad del agua, y climatológicas. Los modelos desarrollados son consumo per cápita semestral (CPC/est.s) y consumo per cápita mensual ponderado (CPC/p.m). Los resultados indican que la gestión y calidad del agua, así como las características demográficas, son cruciales para predecir el consumo de agua a largo plazo mientras que los factores climatológicos son más determinantes para predicciones mensuales.

Las investigaciones de Arellano et al. (2018) y Arellano & Peña (2020) son de gran ayuda para el diseño y dimensionamiento de tanques de reserva de agua potable, ya que permite estimar con mayor precisión el consumo futuro de agua. Esta estimación precisa es crucial para dimensionar adecuadamente los tanques de almacenamiento, lo que a su vez contribuye a optimizar su diseño.

Zúñiga et al. (2024) desarrolló una metodología para la generación de curvas horarias de consumo residencial de agua potable y su relación con el consumo de estratos socioeconómicos. Como resultados de aplicar la metodología de esta investigación podemos obtener el consumo horario por estratos, consumo horario por sector y los factores de modulación horario (kh máx).

En Riobamba se realizó un estudio para construir un prototipo de red de nodos inteligentes que permita supervisar la calidad y los niveles de agua potable en los tanques de reserva de EP-EMAPAR, donde se concluyó que el prototipo contribuyó a determinar la calidad del agua potable y además mide los niveles del agua en los tanques reservorios lo que ayuda a garantizar una mayor eficiencia en la distribución de agua potable y optimización en la operación de los tanques de

reserva además estos datos se almacenan en una base de datos histórica para la toma de decisiones y la creación de modelos matemáticos (Moyón & Ordóñez, 2019).

En la cabecera cantonal del cantón Guano se realizó el análisis y diagnóstico de la red de sistema de agua potable donde se encontró que el principal problema son las variaciones de presiones en los puntos de consumo, ligado a la cantidad de agua fugada en el sistema. Donde se dimensionó un depósito de regulación y la implementación de 21 válvulas reductoras de presión en el sistema; el cuál se verificó su funcionamiento en el sistema mediante un modelo matemático en el software EPANET, llegando a reducir el agua fugada de 24,6 l/s a un valor de 19,17 l/s (Zuñiga, 2019).

En Guano se realizó el estudio de determinación del consumo horario residencial de agua potable de las parroquias San Andrés y San Isidro de Patulú a través de la toma de datos en campo de 96 micromedidores en San Andrés y 64 micromedidores en San Isidro de Patulú durante 24 horas 7 días de la semana. Obteniendo que el mayor consumo de agua potable en la parroquia San Andrés se presenta a las 12h00 con un caudal de 126,72 l/h y en San Isidro de Patulú a las 11h00 con un caudal de 103,22 l/h, a su vez los coeficientes (kh) de mayor magnitud son 2,44 y 3,08 respectivamente (Arias & Carrión, 2023).

En Guamote se realizó el estudio de del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable durante 7 días las 24 horas, donde se identificaron 3 redes: San Juan Bajo, San Juan Alto y Carapungo. Obteniendo como resultado o las curvas horarias con sus respectivos caudales máximos para San Juan Bajo de 150,40 l/h a las 12h00, San Juan Alto de 135,90 l/h a las 13h00 y Carapungo de 129,25 l/h a las 20h00. En cuanto a los coeficientes de variación horaria en la red de San Juan Bajo el máximo es de 2,52, San Juan Alto de 2,55 y Carapungo de 2,58. Finalmente se obtuvo el caudal medio de agua potable del cantón Guamote que es de 65,94 l/h (Moreno & Guamán, 2023).

En Guano se realizó el análisis del consumo horario residencial de agua potable a través de la medición horaria de 79 medidores por un período de 7 días 24 horas, donde se encontró que La Matriz cuenta con tres redes de distribución que se encuentran conectadas con sus respectivos tanques de reserva que son: Tanque Lluishi, Tanque La Inmaculada y Tanque Barrios Altos. Obteniendo como resultados del estudio un kh máximo de 2,93 el mismo que excede al valor recomendado por la norma. Los valores máximos de caudal horario fueron de 61,35 l/h en Barrios

Altos, 151,21 l/h en Lluishi y 110,81 l/h en La Inmaculada, y un caudal medio de La Matriz de 66,99 l/h (Llamuca & Vallejo, 2023).

Por lo que un diseño, ubicación y operación adecuados de los tanques de reserva son fundamentales para el buen funcionamiento de la red de distribución. Esto contribuye a mantener las presiones necesarias y reduce las pérdidas de agua por fugas.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación tiene la finalidad de determinar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano, para verificar si el volumen actual de los tanques es suficiente para abastecer la demanda de los usuarios y comprobar que mediante los niveles de llenado y vaciado de los tanques que el agua no permanece estancada durante largos lapsos de tiempo, mediante los tipos de investigación: exploratoria, analítica y descriptiva.

Se utiliza un enfoque exploratorio mediante la recolección de información y visitas de campo a los tanques de reserva para registrar los niveles de llenado y vaciado. Además, se realiza un análisis analítico para tabular e interpretar la información recolectada, lo que permite determinar los volúmenes necesarios de cada tanque de reserva. Finalmente, se lleva a cabo un análisis descriptivo para evaluar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño de los tanques de reserva de agua potable, verificar si el volumen actual de los tanques es suficiente para abastecer la demanda de los usuarios y comprobar la renovación del agua en su interior.

3.2 Esquema Metodológico

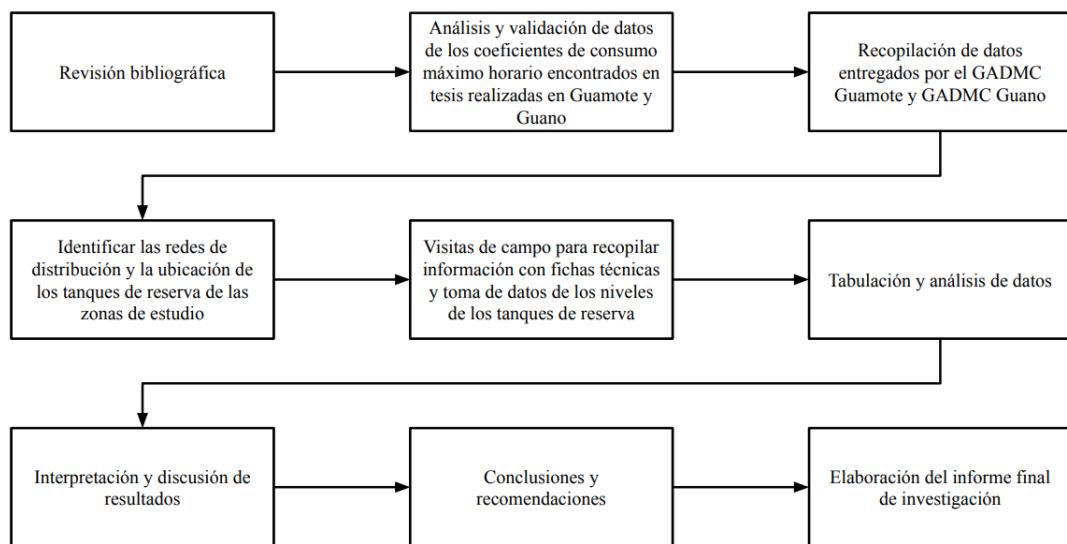


Figura 6 Esquema metodológico de la investigación.

Fuente. (Salazar, 2024).

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

Para la investigación, se usaron diferentes técnicas de recolección de datos que incluyen fichas técnicas, observaciones y revisión documental.

Fichas técnicas: se desarrollaron y aplicaron fichas técnicas para recolectar información sobre las principales características de los tanques de reserva de agua potable de los cantones Guamote y Guano. Las fichas nos ayudan a identificar las dimensiones, volumen, año y material de construcción, además de otras características importantes, con el objetivo de detectar problemas comunes y evaluar el estado actual de los tanques de reserva.

Observaciones: se realizaron observaciones in situ durante un periodo de siete días para monitorear los niveles de agua en los tanques de reserva durante las horas de mayor consumo y así obtener datos precisos, con el objetivo de analizar si el agua en los tanques de reserva está en constante renovación y no permanece estancada durante largos lapsos de tiempo.

Revisión y análisis documental: consistió en la recopilación y análisis de los coeficientes de consumo máximo horario obtenidos de estudios anteriores realizados en los cantones de Guamote y Guano. Además de información proporcionada por las Jefaturas de Agua Potable y Alcantarillado de los cantones sobre la ubicación, volumen de los tanques y los caudales de entrada de los tanques, estos datos permitirán evaluar la capacidad de los tanques para satisfacer la demanda de agua de los usuarios.

3.4 Población de Estudio y Tamaño de la Muestra

3.4.1 Población

La población de estudio comprende los tanques de reserva ubicados en la cabecera cantonal de los cantones de Guamote y Guano. En el cantón Guamote según información proporcionada por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado se tiene tres redes de distribución donde cada red tiene su propio tanque de reserva; la red de San Juan Alto tiene 531 usuarios (medidores), la red de Carapungo tiene 247 usuarios (medidores) y la red de San Juan Bajo tiene 1046 usuarios (medidores). La Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Guano proporcionó la información de que existen tres redes de distribución donde cada red tiene su propio tanque de reserva; según datos del catastro actualizado la red de Lluishi tiene 1460 usuarios (medidores), la

red de Barrios Altos tiene 743 usuarios (medidores) y la red de La Inmaculada tiene 836 usuarios (medidores).

3.4.2 Muestra

En el presente estudio no se ocupará una muestra como tal, sino que se realizará un censo debido a que se analizará toda la población de estudio, el censo abarcará los tres tanques de reserva del cantón Guamote y los tres tanques de reserva del cantón Guano. Esta metodología permite examinar las características individuales de cada tanque, y evaluar la influencia del coeficiente máximo horario en el diseño; facilitando la identificación de similitudes y patrones que contribuyan a mejorar las prácticas de diseño y gestión de los tanques de reserva.

3.5 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

3.5.1 Análisis, validación y corrección de los Coeficientes de Consumo Máximo Horario (kh)

3.5.1.1 Tabulación de datos

Para este proceso, se tabularon los datos de las investigaciones realizadas por Llamuca & Vallejo (2023) y Moreno & Guamán (2023), donde se identificaron los consumos horarios y los coeficientes de consumo máximo horario (kh) de las diferentes redes de distribución de los cantones Guamote y Guano. Estos datos se organizaron en una hoja de cálculo clasificándolos según el cantón y la red de distribución a la que pertenecen, por lo que para cada red se tienen datos de las 24 horas del día. Los datos tabulados son esenciales para comprender el consumo de agua e identificar los patrones de consumo de la población de estudio.

3.5.1.2 Validación de datos

Para la validación de datos se utiliza el programa Excel, en el cual se calcula el promedio de los coeficientes de consumo máximo horario de cada red de distribución, verificando que el resultado sea igual a 1; esto debido a que los coeficientes de consumo máximo horario representan la relación entre el consumo máximo y el consumo promedio diario, la condición de que el promedio de los coeficientes sea igual a 1 es para asegurar que los cálculos son consistentes con el principio de conservación de la masa.

Para el cálculo del promedio de los coeficientes de consumo máximo horario se utilizará la ecuación (1) que se muestra a continuación:

$$Kh \text{ Promedio} = \frac{\sum kh}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\sum kh$: Sumatoria de los 24 coeficientes de consumo máximo horario.

N: Número de datos.

Cuando el promedio es diferente a 1, se verifica que los coeficientes estén calculados correctamente según el método establecido por Zúñiga et al. (2024) en la investigación titulada “Metodología para la Generación de Curvas Horarias de Consumo Residencial de Agua Potable y su Relación con el Consumo de los Estratos Socioeconómicos”.

3.5.2 Procesamiento y análisis de datos para la caracterización de los tanques de reserva.

Para este proceso, se utiliza una plantilla que se puede ver en el **Anexo 1**, la cual sirve para tabular toda la información tomada en campo acerca de las principales características de los tanques de reserva; se utiliza un GPS, cinta métrica y un flexómetro para realizar las mediciones de los tanques, las demás características se pueden obtener con una inspección visual. Además, se debe revisar planos y otros documentos que proporcionen información acerca de las características de los tanques. El objetivo principal es obtener una descripción detallada de los tanques tales como ubicación, red de distribución a la que abastece, dimensiones, forma, horas de llenado, número de usuarios, etc.

Se toman registros fotográficos en los que se visualizan las características y estados actuales de los tanques, esto ayudará a generar un análisis del funcionamiento de los tanques, lo que permite formular recomendaciones de diseño de los tanques de reserva.

3.5.3 Procesamiento y análisis de datos para la recolección de datos en campo de los niveles de agua potable en los tanques de reserva.

3.5.3.1 Tabulación de datos

Para la tabulación de datos se realizó una plantilla que se indica en el **Anexo 2** en la que se registran la fecha, la hora, el nivel de agua potable del tanque y las posibles observaciones. Durante siete días consecutivos se tomaron mediciones de los niveles de agua potable en los tanques de reserva en tres horarios: mañana, mediodía y tarde. La medición de los niveles de agua potable se

realiza con la ayuda de un tubo plástico que se introduce en el interior del tanque, donde se marca el nivel de agua dentro del tanque y así se puede realizar la medición con un flexómetro. Los datos se registran en la plantilla para su posterior digitalización en el software Excel y así poder realizar un análisis de los datos. Esta metodología permite la obtención de datos precisos sobre las variaciones en los niveles de agua potable en los tanques de reserva.

3.5.3.2 Análisis estadístico.

Para evaluar el funcionamiento adecuado de los tanques de reserva se realiza un análisis descriptivo de los datos obtenidos de la mañana, mediodía y tarde durante 7 días de los niveles de agua en los tanques. Se realiza un análisis mediante el uso del diagrama de caja y bigotes, ya que nos permite identificar los niveles máximos, mínimos y la mediana en los diferentes horarios del día, lo que permite determinar el funcionamiento de los tanques verificando si el agua se renueva constantemente. También se calcula una medida de tendencia central como lo es la media aritmética, que se expresa en la ecuación (2), esto nos ayuda a tener un valor representativo del nivel promedio de agua en los tanques para los diferentes horarios. Estos análisis nos permiten verificar la renovación del agua y la gestión adecuada del suministro de agua.

$$\bar{X} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_7}{7} \quad (2)$$

Donde:

\bar{X} : media aritmética.

N: nivel de agua en un horario (mañana, medio día o tarde).

3.5.4 Diseño del volumen del tanque de reserva.

3.5.4.1 Volumen de regulación.

El volumen de regulación es el máximo valor del volumen final en las 24 horas de análisis; esto se debe a que es el máximo volumen de agua que se tendrá como almacenamiento en el tanque para garantizar el suministro continuo de agua potable. En caso de que se tengan valores de volumen final negativos el volumen de regulación será la suma entre el máximo volumen final positivo y el valor absoluto del mínimo volumen final negativo.

Para determinar el volumen de regulación del tanque de reserva, se necesita recopilar datos de investigaciones anteriores realizadas en la zona de estudio sobre el caudal medio, consumo diario y número de usuarios que abastecen a la red, un aspecto importante a considerar y analizar son las unidades de los datos recopilados. Los datos fueron tabulados anteriormente en una hoja de Excel cuando se realizó la validación de los coeficientes de consumo máximo horario (kh). Estos datos son fundamentales para garantizar que el volumen de regulación pueda satisfacer la demanda y garantizar un suministro constante durante las horas de mayor y menor consumo.

Una vez recopilados los datos necesarios, se procede a determinar otros parámetros necesarios para determinar el volumen de regulación. Se debe tener en cuenta que los datos recopilados son por cada red de distribución.

3.5.4.2 Caudal medio de la red.

Como se expresa en la ecuación (3) el caudal medio de toda la red se obtiene multiplicando el caudal medio por el número de usuarios. Este cálculo es necesario porque el caudal medio recopilado originalmente no contempla a todos los usuarios de la red. Por ello se necesita un correcto análisis de las unidades.

$$Q_{medio\ red} = Q_{medio} * \# \text{ usuarios} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{medio\ red}$: caudal medio de la red.

Q_{medio} : caudal medio.

usuarios: número de usuarios o medidores

3.5.4.3 Consumo diario de la red.

El volumen de consumo diario de la red se establece como la multiplicación entre el consumo diario y el número de usuarios de la red, tal como se expresa en la ecuación (4).

$$Volumen\ de\ Consumo\ Diario\ Red = Consumo\ Diario * \# \text{ usuarios} \quad (4)$$

Con esto se obtendrá el volumen de consumo diario de toda la red es decir tomando en cuenta a todos los usuarios, dado que el dato recopilado de investigaciones anteriores sobre el consumo diario solo proporciona el consumo horario promedio por usuario.

3.5.4.4 Caudal de entrada.

Como se expresa en la ecuación (5) el caudal de entrada es la relación entre el consumo diario de la red y las horas de entrada de agua al tanque.

$$Q_{\text{entrada}} = \frac{\text{Volumen Consumo Diario Red [m}^3\text{]}}{h \text{ [horas]}} \quad (5)$$

Donde:

Q_{entrada} : Caudal de entrada.

h: Horas de entrada de agua al tanque.

3.5.4.5 Caudal de salida.

El caudal de salida resulta de la multiplicación entre el caudal medio de la red y el coeficiente de consumo máximo horario (kh), también conocido como factor de modulación, tal como se establece en la ecuación (6).

$$Q_{\text{salida}} = Q_{\text{medio red}} * kh \quad (6)$$

Donde:

Q_{salida} : Caudal de salida.

$Q_{\text{medio red}}$: Caudal medio de la red.

kh: Coeficiente de modulación por hora o factor de modulación.

3.5.4.6 Volumen inicial.

Para cada hora de análisis, se considera que el volumen inicial es igual al volumen final registrado en la hora anterior, tal como se indica en la ecuación (7).

$$V_i = V_{f \ i-1} \quad (7)$$

Donde:

V_i : Volumen inicial.

$V_{f \ i-1}$: Volumen final en la hora anterior.

3.5.4.7 Volumen final.

El volumen final representa el volumen de reserva de agua en el tanque al final de una hora; esto ayuda a garantizar un suministro constante de agua a los usuarios durante las horas de mayor consumo. El volumen final se obtiene tal como se muestra en la ecuación (8).

$$V_f = V_i + [(Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{salida}}) * \Delta t] \quad (8)$$

Donde:

V_f : Volumen final.

V_i : Volumen inicial.

Q_{entrada} : Caudal de entrada.

Q_{salida} : Caudal de salida.

Δt : número de horas, por lo general es una hora.

3.5.4.8 Volumen de protección contra incendios.

Según la norma CPE INEN 5 (1992), se establecen tres criterios para determinar el volumen de protección contra incendios, los cuales se describen a continuación:

- a) Para poblaciones de hasta 3 000 habitantes futuros en la costa y 5 000 en la sierra, no se considera almacenamiento para incendios.
- b) Para poblaciones de hasta 20 000 habitantes futuros se aplicará la ecuación (9), el cual su resultado no da en m³.

$$V_i = 50 * \sqrt{p} \ [m^3] \quad (9)$$

- c) Para poblaciones de más de 20 000 habitantes futuros se aplicará la ecuación (10), el cual su resultado nos da en m³.

$$V_i = 100 * \sqrt{p} \ [m^3] \quad (10)$$

Donde:

V_i : Volumen para protección contra incendios, en m³.

p: Población en miles de habitantes.

3.5.4.9 Volumen de emergencia.

La norma CPE INEN 5 (1992) establece que, para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia; mientras que para poblaciones con menos de 5000 habitantes no se calculará ningún volumen para emergencias.

3.5.4.10 Altura libre.

La altura libre es la distancia vertical que existe entre el nivel máximo del agua en el tanque de reserva y la parte superior interna del tanque; esta sirve como medida de seguridad para posibles desbordamientos. El volumen libre se establece como una altura de entre 10 a 30 cm. En todos los casos, debe dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación del tanque; se recomienda un borde de 0,30 m como mínimo (EMAAP Quito, 2007).

3.5.4.11 Volumen total.

El volumen total de almacenamiento es el resultado de la suma de los volúmenes de regulación, incendio, emergencia y el volumen de la planta de tratamiento, además de considerar la altura libre que se debe dejar en el tanque de almacenamiento.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Caracterización de los tanques de reserva y coeficientes máximos horario por redes.

Se analizaron los coeficientes máximos horarios de consumo de agua potable obtenidos en investigaciones anteriores para corregir cualquier error de cálculo, pero se debe aclarar que los patrones de consumo pueden cambiar dependiendo de la temporada del año, las condiciones climáticas, actividades culturales, demografía y las costumbres de cada zona.

4.1.1 Guamote.

En el cantón Guamote actualmente existen cuatro tanques de reserva para abastecer de agua potable al cantón, tres de forma rectangular y el otro circular, en cada red se detallarán las principales características de los tanques de reserva.

El estado general y estructural de los tanques es bueno aunque presentan pequeñas fisuras en la parte exterior, causado por desbordamientos o por las lluvias; están impermeabilizados con fibra de vidrio y se llenan por gravedad las 24 horas del día; cuentan con una válvula de entrada y una válvula de salida, cuentan con un solo compartimiento a excepción del tanque rectangular de la red San Juan Bajo que cuenta con dos comportamientos; la limpieza de los tanques se realiza cada seis meses con la ayuda de cinco personas, durante esta actividad se interrumpe el suministro de agua.

Red San Juan Bajo.



Figura 7 Tanque de reserva rectangular de la red San Juan Bajo.

Fuente. (Salazar, 2024).



Figura 8 Tanque de reserva circular de la red San Juan Bajo.

Fuente. (Salazar, 2024).

La red San Juan Bajo cuenta con 1046 usuarios y dispone de dos tanques de hormigón armado, ambos construidos en 2007. El primer tanque es circular y tiene un volumen de 200 m³ con una altura de 3,7 m, mientras que el segundo es un tanque rectangular semienterrado con un volumen de 250 m³ con una altura de 2,9 m.

A diferencia de otras redes, la red San Juan Bajo no interrumpe el suministro de agua potable durante la limpieza de sus tanques. El lugar donde se ubican los tanques tiene un consumo eléctrico mensual de 47,14 dólares. En el mismo sitio se encuentra una oficina donde se realizan los análisis de los parámetros de calidad del agua, de acuerdo con la norma NTE INEN 1108.

Como se muestra en la **Figura 11** en la red San Juan Bajo el valor máximo de kh se registra a las 12h00 con un valor de 2,52; este valor supera al rango de 2 a 2,3 establecido por la norma CPE INEN 5 (1992). Además, existen otras horas pico de consumo que son a las 8h00 y 18h00 con kh de 1,82 y 2,14 respectivamente. Estos resultados indican una tendencia de mayor consumo en las horas de la mañana, medio día y tarde.

Red San Juan Alto.



Figura 9 Tanque de reserva rectangular de la red San Juan Alto.

Fuente. (Salazar, 2024).

Para la red San Juan Alto, que cuenta con 531 usuarios, existe un tanque rectangular de 200 m³ semienterrado con una altura de 2,7 m construido en 2007 con hormigón armado. Además, el sitio donde se encuentra el tanque genera un consumo eléctrico mensual de 14,81 dólares.

En la red San Juan Alto se identifican tres horas pico de mayor consumo, específicamente a las 7h00, 13h00 y 18h00 con valores de kh de 1.81, 2.55 y 2.31 como se evidencia en la **Figura 12**. Estos valores superan el rango establecido por la norma, lo que sugiere que la normativa actual podría ser insuficiente para satisfacer la demanda de agua potable en las horas pico de consumo.

Red Carapungo.



Figura 10 Tanque de reserva rectangular de la red Carapungo.

Fuente. (Salazar, 2024).

La red de Carapungo actualmente cuenta con 247 usuarios y un tanque rectangular de 150 m³ semienterrado con una altura de 2,8 m, construido en 2017 con hormigón armado. El lugar donde se ubica el tanque tiene un consumo eléctrico mensual de 89,66 dólares, ya que en el mismo sitio se ubica la planta de tratamiento de agua potable con una capacidad de 12 l/s.

Como se indica en la **Figura 13** en la red Carapungo existen dos valores que sobrepasan los establecidos por la norma en las horas de 19h00 y 20h00 con valores kh de 2.46 y 2.58 respectivamente, esto representa que existe una mayor demanda de agua potable en horas de la tarde-noche. Esto se debe a que en horas de la mañana los habitantes se dirigen a realizar actividades en el campo y retornan en la tarde, por ende, no se encuentran en sus hogares; esto se ve reflejado en que los picos de consumo de agua potable sean en la mañana y noche.

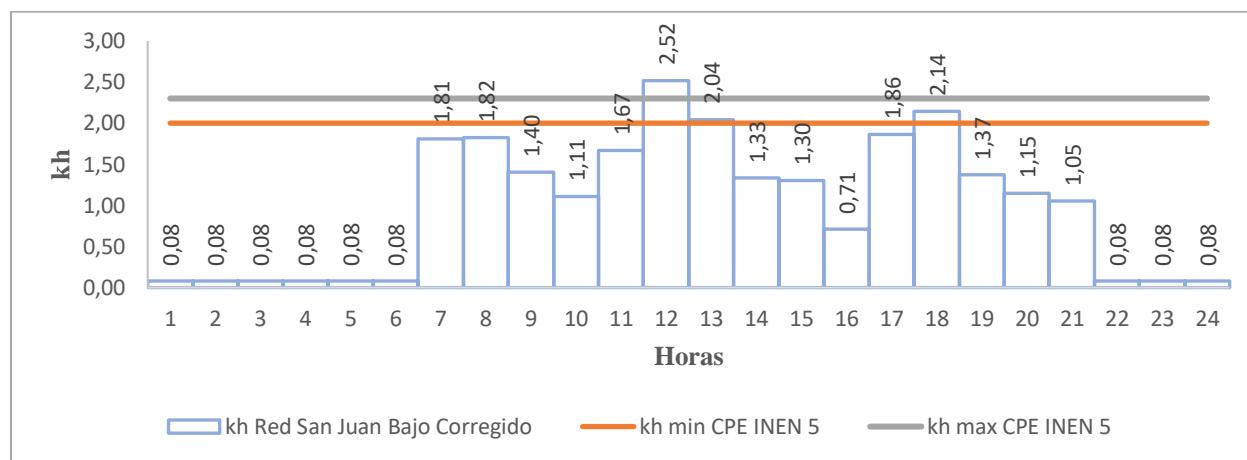


Figura 11 Coeficientes máximos de consumo horario red San Juan Bajo.

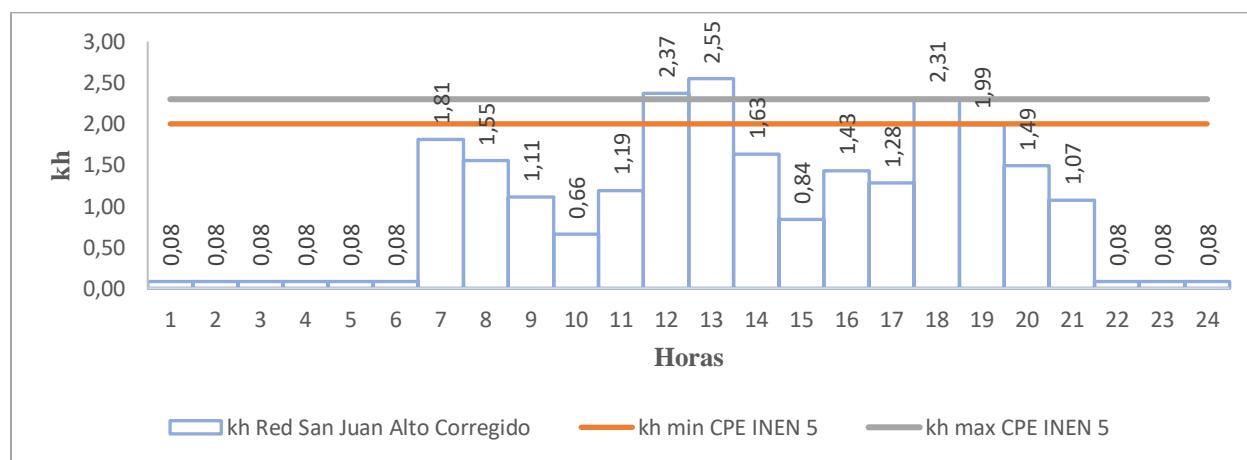


Figura 12 Coeficientes máximos de consumo horario red San Juan Alto.

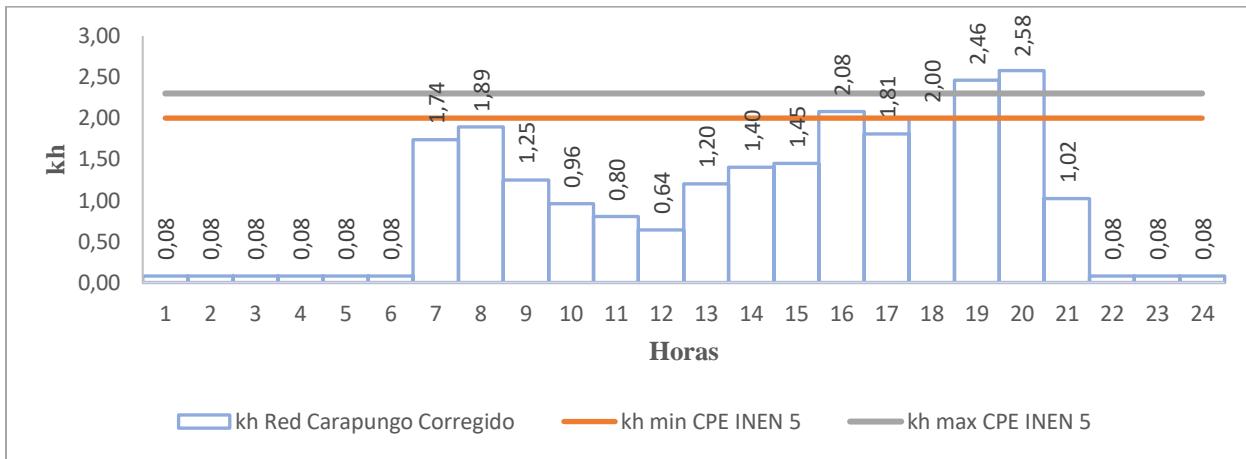


Figura 13 Coeficientes máximos de consumo horario red Carapungo.

4.1.2 Guano.

Como parte del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado ejecutado en el 2018 se repotenciaron los tanques de las redes La Inmaculada y Lluishi, mientras que para la red Barrios Altos se construyó un tanque nuevo; los tanques están construidos de hormigón armado, el estado general y estructural de los tanques es bueno y se encuentran impermeabilizados con pintura epóxica. El llenado se realiza por gravedad de manera continua durante las 24 horas del día; disponen de un solo compartimiento, equipado con una válvula de entrada, una válvula de salida, y un desbordamiento que se activa cuando el nivel del agua alcanza su capacidad máxima. La limpieza interna del tanque se lleva a cabo cada seis meses con la ayuda de cuatro personas, durante la cual se interrumpe temporalmente el suministro de agua potable.

La Inmaculada.



Figura 14 Tanque de reserva circular de la red La Inmaculada.

Fuente. (Salazar, 2024).

La red La Inmaculada atiende a 836 usuarios y cuenta con un tanque circular de 300 m³. Este tanque tiene una altura de 4 metros. El agua del desbordamiento se dirige hacia el estadio o directamente al alcantarillado.

En la red La Inmaculada existen tres horas pico que son a las 6h00, 11h00 y 19h00 con valores de kh de 2.07, 2.09 y 2.33 como se indica en la **Figura 17**. Sin embargo, el único valor que se encuentra fuera del rango establecido por la norma es el de las 19h00, los demás valores se encuentran dentro del rango o son inferiores al mismo.

Lluishi.



Figura 15 Tanque de reserva circular de la red Lluishi.

Fuente. (Salazar, 2024).

La red Lluishi, atiende a 1460 usuarios, cuenta con un tanque circular de 300 m³ con una altura de 5m. El agua excedente se dirige hacia una quebrada cercana.

Como se muestra en la **Figura 18** en la red Lluishi el valor máximo de kh se registra a las 12h00 con un valor de 2.31, de igual manera que en la red La Inmaculada es el único valor que se encuentra fuera del rango establecido por la norma. Además, las horas pico de mayor consumo se presentan a las 6h00 y 19h00 con valores de kh de 2.23 y 1.92 respectivamente.

Barrios Altos.



Figura 16 Tanque de reserva rectangular de la red Barrios Altos.

Fuente. (Salazar, 2024).

La red Barrios Altos tiene 743 usuarios y cuenta con un tanque rectangular semienterrado de 4m de altura. El agua excedente se utiliza en los cultivos cercanos.

En la red Barrios Altos se presenta el máximo valor del coeficiente kh del cantón Guano, a las 6h00 con un valor de 2.44 como se evidencia en la **Figura 19**. Además, a las 19h00 se tiene un valor que se encuentra en el límite máximo establecido en la norma. Esto nos indica una mayor demanda de suministro de agua potable en la mañana y en las últimas horas de la tarde.

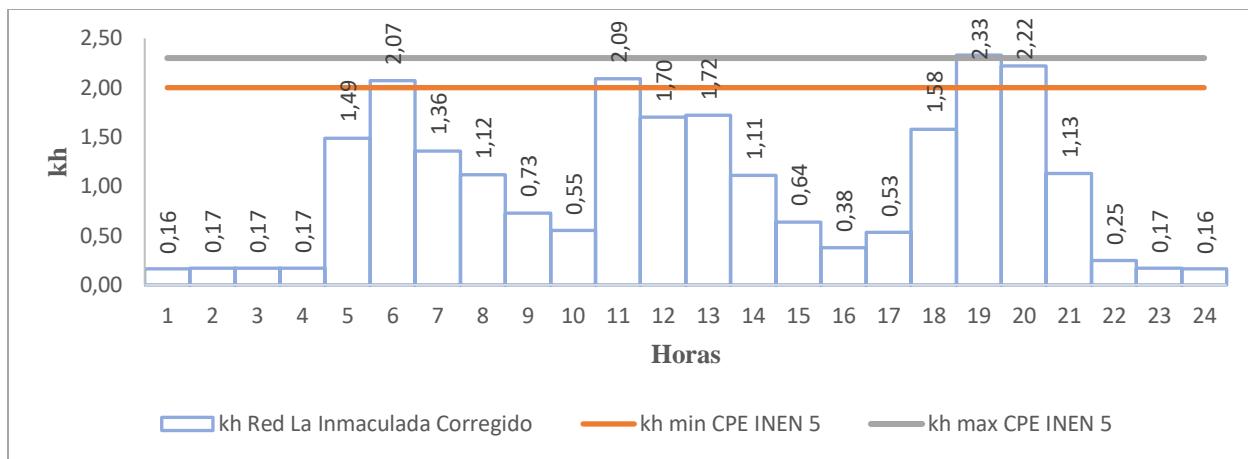


Figura 17 Coeficientes máximos de consumo horario red La Inmaculada.

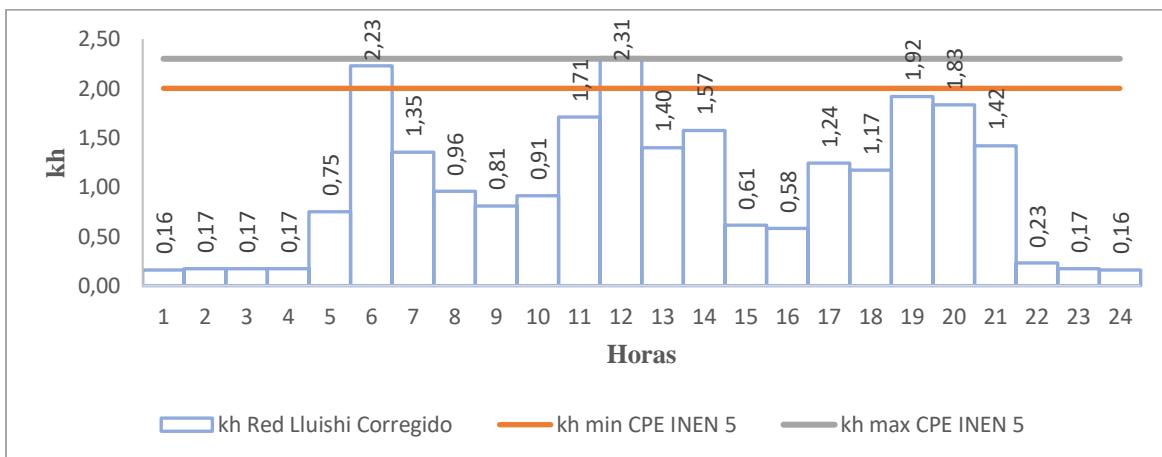


Figura 18 Coeficientes máximos de consumo horario red Lluishi.

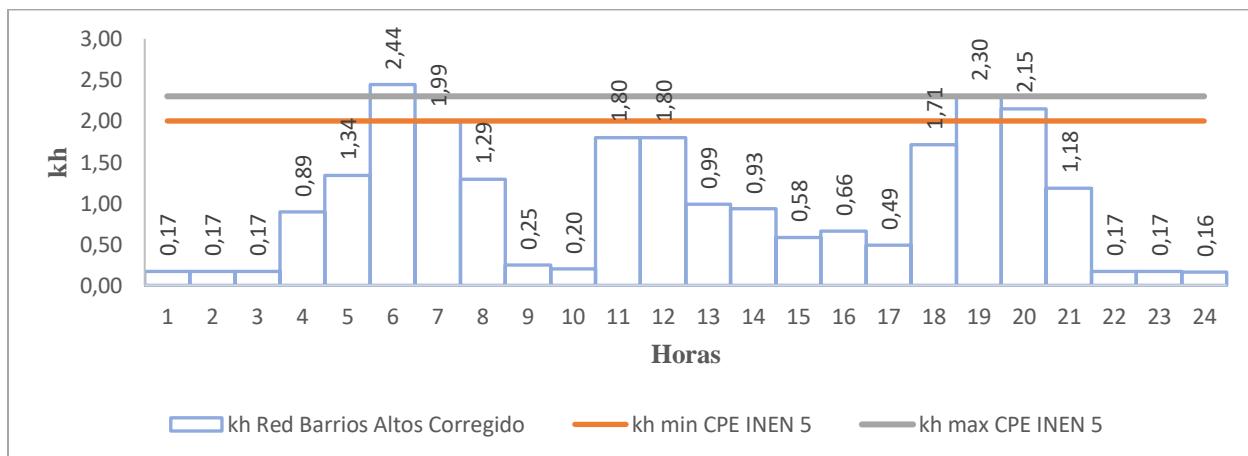


Figura 19 Coeficientes máximos de consumo horario red Barrios Altos.

4.2 Coeficientes kh máximos por redes.

En la **Figura 20** se observan los coeficientes de variación del consumo máximo horario de las redes de los cantones Guamote y Guano, estos valores son mayores a los establecidos por la norma CPE INEN 5 (1992), con un valor máximo de 2.3, el cual exceden todas las redes.

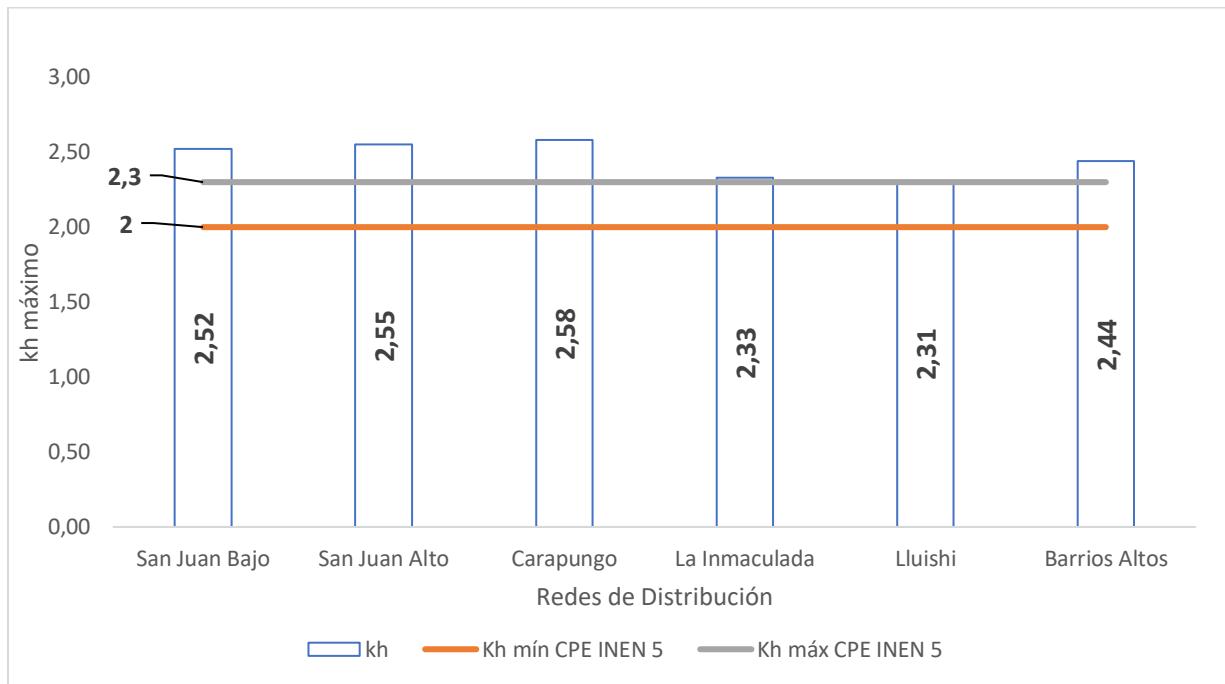


Figura 20 Coeficientes kh máximos por redes de los cantones Guamote y Guano.

Fuente. (Salazar, 2024).

4.3 Niveles de llenado y vaciado de los tanques de reserva.

Guamote.

En la **Tabla 5**, **Tabla 6**, **Tabla 7** se indican las alturas de los niveles de agua registrados durante una semana a las 7h00, 12h00 y 16h00.

Tabla 5

Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red San Juan Bajo.

Día	Red San Juan Bajo					
	Altura del Agua Potable Tanque Circular de 200 m3 [cm]			Altura del Agua Potable Tanque Rectangular de 250 m3 [cm]		
	7:00	12:00	16:00	7:00	12:00	16:00
Lunes	270.00	160.00	54.00	277.00	210.00	182.00
Martes	265.00	153.00	51.00	268.00	205.00	178.00
Miércoles	285.00	173.00	62.00	290.00	228.00	193.00
Jueves	238.00	113.00	0.00	258.00	180.00	155.00
Viernes	256.00	140.00	0.00	263.00	189.00	165.00
Sábado	253.00	198.00	52.00	275.00	203.00	169.00
Domingo	263.00	201.00	78.00	273.00	200.00	175.00

Fuente. (Salazar, 2024).

Tabla 6

Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red San Juan Alto.

Día	Red San Juan Alto		
	Altura del Agua Potable Tanque Rectangular de 200 m3 [cm]		
	7:00	12:00	16:00
Lunes	246.00	192.00	134.00
Martes	236.00	184.00	128.00
Miércoles	250.00	185.00	137.00
Jueves	230.00	144.00	98.00
Viernes	242.00	183.00	140.00
Sábado	245.00	170.00	115.00
Domingo	248.00	172.00	122.00

Fuente. (Salazar, 2024).

Tabla 7

Altura de agua potable en los tanques de reserva de la red Carapungo.

Día	Red Carapungo		
	Altura del Agua Potable Tanque Rectangular de 150 m3 [cm]		
	7:00	12:00	16:00
Lunes	252.00	202.00	143.00
Martes	250.00	195.00	154.00

Miércoles	280.00	225.00	165.00
Jueves	245.00	160.00	96.00
Viernes	242.00	183.00	125.00
Sábado	237.00	190.00	139.00
Domingo	258.00	200.00	156.00

Fuente. (Salazar, 2024).

En la **Tabla 8** se observan los niveles de agua en los tanques de reserva del cantón Guamote a las 7h00, 12h00 y 16h00, donde los niveles más altos de agua potable son los miércoles y los niveles más bajos de agua potable se presenta el jueves; esto nos indica que el día jueves existe un mayor consumo de agua potable en la población, esto se debe a que ese día se realiza la feria de Guamote donde existe una gran afluencia de personas debido a las diferentes actividades de comercio, por lo tanto, el consumo de agua potable aumenta.

Los niveles registrados a las 16h00 garantizan que hay suficiente reserva de agua para cubrir el consumo durante las horas pico de la noche. Además, con los niveles registrados se puede concluir que existe una constante renovación del agua en los tanques de reserva.

Tabla 8

Niveles en porcentaje de agua potable en los tanques de reserva del cantón Guamote.

	Porcentaje de los Niveles de los Tanques de Reserva									
	Red San Juan Bajo			Red San Juan Alto			Red Carapungo			
	Volumen=450 m ³			Volumen=200 m ³			Volumen=150 m ³			
	7:00	12:00	16:00	7:00	12:00	16:00	7:00	12:00	16:00	
	Porcentaje [%]			Porcentaje [%]			Porcentaje [%]			
Lunes	85.50	59.45	41.35	91.11	71.11	49.63	90.00	72.14	51.07	
Martes	83.17	57.65	40.23	87.41	68.15	47.41	89.29	69.64	55.00	
Miércoles	89.79	64.46	44.42	92.59	68.52	50.74	100.00	80.36	58.93	
Jueves	78.01	48.06	29.69	85.19	53.33	36.30	87.50	57.14	34.29	
Viernes	81.13	53.02	31.61	89.63	67.78	51.85	86.43	65.36	44.64	
Sábado	83.07	62.67	38.62	90.74	62.96	42.59	84.64	67.86	49.64	
Domingo	83.89	62.46	42.89	91.85	63.70	45.19	92.14	71.43	55.71	

Fuente. (Salazar, 2024).

Se decidió utilizar la media aritmética como medida representativa de los niveles de agua en los tanques de reserva, ya que en el diagrama de caja y bigotes los niveles del jueves los

consideraba como datos atípicos. Esto resultaría erróneo, dado que los jueves son los días de mayor consumo de agua potable debido a la feria de Guamote, que se lleva a cabo semanalmente en ese día y genera un patrón de consumo elevado.

En la **Tabla 9** se identifica que el tanque de reserva de la red Carapungo presenta los niveles más altos de agua potable, lo cual se debe a que esta red solo tiene dos picos de consumo que son en la mañana y en la noche. Por otro lado, la red San Juan Bajo tiene los niveles más bajos ya que concentra la mayor cantidad de usuarios en el cantón Guamote y presenta tres picos de consumo que son mañana, tarde y noche.

Tabla 9

Niveles promedio de agua potable en los tanques de reserva del cantón Guamote.

Niveles Promedio de los Tanques de Reserva			
	7:00	12:00	16:00
Red San Juan Bajo	83.51%	58.25%	38.40%
Red San Juan Alto	89.21%	65.61%	46.24%
Red Carapungo	90.00%	69.13%	49.90%

Fuente. (Salazar, 2024).

Guano

En el cantón Guano, los niveles de agua en los tanques de reserva se registran a las 9h00, 12h00 y 15h00. En la red La Inmaculada, el porcentaje de nivel registrado en los tres horarios es del 100% y el sistema de desbordamiento dirige el exceso de agua hacia el estadio o directamente al sistema de alcantarillado. El tanque de reserva de la red Lluishi en los tres horarios se registra un nivel del 100%, su sistema de desbordamiento permanece activo durante todo el día y dirige el exceso de agua hacia la quebrada que se encuentra cerca. En la red Barrios Altos, en los tres horarios el nivel también es del 100 % y el agua del desbordamiento se utiliza para regar los cultivos cercanos; la cual también, permanece activo durante todo el día. Esto nos indica que los tanques de reserva de las tres redes mantienen un nivel de alrededor del 100% durante las 24 horas.

Los niveles altos de estos tanques de reserva sugieren que el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida en las tres redes de agua potable. El uso constante de los sistemas de

desbordamiento en los tanques contribuye a la renovación del agua dentro de los mismos, pero no garantiza una adecuada mezcla, lo que genera la pérdida de cloro residual y el crecimiento de microorganismos.

4.4. Volumen de Regulación de los Tanques de Reserva por Redes.

Para el diseño del volumen de regulación de los tanques de reserva los coeficientes kh de cada red influye directamente en el caudal de salida del tanque, el cual está vinculado al volumen de regulación necesario en los tanques para garantizar un suministro constante de agua potable. El diseño correcto de los tanques se da cuando el volumen inicial es 0 en cualquier intervalo de tiempo y en la hora anterior el volumen final también llega a 0, esto nos brinda un diseño óptimo del tanque.

4.4.1 Guamote.

Volumen de Regulación Red San Juan Bajo.

En la **Figura 21** el volumen máximo de la Red San Juan Bajo se alcanza a las 6h00 este valor representa el volumen de regulación necesario del tanque con un valor de 516,809 m³. Este volumen nos permite tener un suministro constante durante las horas pico de consumo de la red San Juan Bajo que son las 8h00, 12h00 y 16h00 con consumos de 113,60 m³/h, 157,29 m³/h y 133,57 m³/h, respectivamente, como se indica en la **Tabla 10**. Para garantizar el suministro constante el tanque necesita un caudal de entrada de 17,34 l/s.

Tabla 10

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red San Juan Bajo.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	1	0,08	62,417	4,993	172,270
1	2	1	0,08	62,417	4,993	229,693
2	3	1	0,08	62,417	4,993	287,116
3	4	1	0,08	62,417	4,993	344,539
4	5	1	0,08	62,417	4,993	401,963
5	6	1	0,08	62,417	4,993	459,386
5	6	1	0,08	62,417	4,993	459,386
6	7	1	1,81	62,417	112,974	516,809
7	8	1	1,82	62,417	113,598	466,252
						415,070

8	9	1	1,40	62,417	87,383	415,070	390,104
9	10	1	1,11	62,417	69,282	390,104	383,238
10	11	1	1,67	62,417	104,236	383,238	341,419
11	12	1	2,52	62,417	157,290	341,419	246,545
12	13	1	2,04	62,417	127,330	246,545	181,632
13	14	1	1,33	62,417	83,014	181,632	161,035
14	15	1	1,30	62,417	81,142	161,035	142,310
15	16	1	0,71	62,417	44,316	142,310	160,411
16	17	1	1,86	62,417	116,095	160,411	106,732
17	18	1	2,14	62,417	133,571	106,732	35,577
18	19	1	1,37	62,417	85,511	35,577	12,483
19	20	1	1,15	62,417	71,779	12,483	3,121
20	21	1	1,05	62,417	65,537	3,121	0,000
21	22	1	0,08	62,417	4,993	0,000	57,423
22	23	1	0,08	62,417	4,993	57,423	114,846
23	24	1	0,08	62,417	4,993	114,846	172,270

Fuente. (Salazar, 2024).

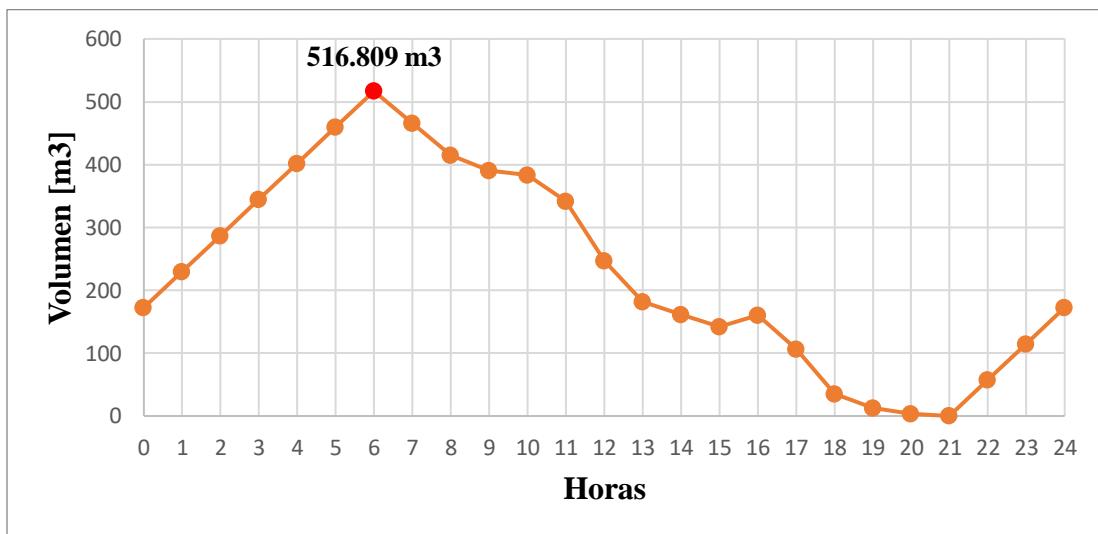


Figura 21 Variación del volumen de regulación de la red San Juan Bajo.

Fuente. (Salazar, 2024).

Volumen de Regulación Red San Juan Alto.

En la red San Juan Alto el volumen de regulación es de 234,25 m³, este valor se alcanza a las 6h00 como se muestra en la **Figura 22**. Los resultados obtenidos en la **Tabla 11** nos indica que

los valores más altos de consumo se presentan a las 7h00, 13h00 y 18h00 con valores de 51,21 m³/h, 72,14 m³/h y 65,35 m³/h, respectivamente, estos valores se relacionan con los valores más altos de los coeficientes kh que se presentan en las mismas horas. Además, es necesario un caudal de entrada de 7,86 l/s.

Tabla 11

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red San Juan Alto.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	1	0,08	28,291	2,263	78,084
1	2	1	0,08	28,291	2,263	104,113
2	3	1	0,08	28,291	2,263	130,141
3	4	1	0,08	28,291	2,263	156,169
4	5	1	0,08	28,291	2,263	182,197
5	6	1	0,08	28,291	2,263	208,225
6	7	1	1,81	28,291	51,208	234,253
7	8	1	1,55	28,291	43,852	211,337
8	9	1	1,11	28,291	31,404	195,777
9	10	1	0,66	28,291	18,672	192,665
10	11	1	1,19	28,291	33,667	202,284
11	12	1	2,37	28,291	67,051	196,909
12	13	1	2,55	28,291	72,143	158,149
13	14	1	1,63	28,291	46,115	114,297
14	15	1	0,84	28,291	23,765	96,474
15	16	1	1,43	28,291	40,457	101,001
16	17	1	1,28	28,291	36,213	88,835
17	18	1	2,31	28,291	65,353	80,914
18	19	1	1,99	28,291	56,300	43,852
19	20	1	1,49	28,291	42,154	15,843
20	21	1	1,07	28,291	30,272	1,980
21	22	1	0,08	28,291	2,263	0,000
22	23	1	0,08	28,291	2,263	26,028
23	24	1	0,08	28,291	2,263	52,056
					52,056	78,084

Fuente. (Salazar, 2024).

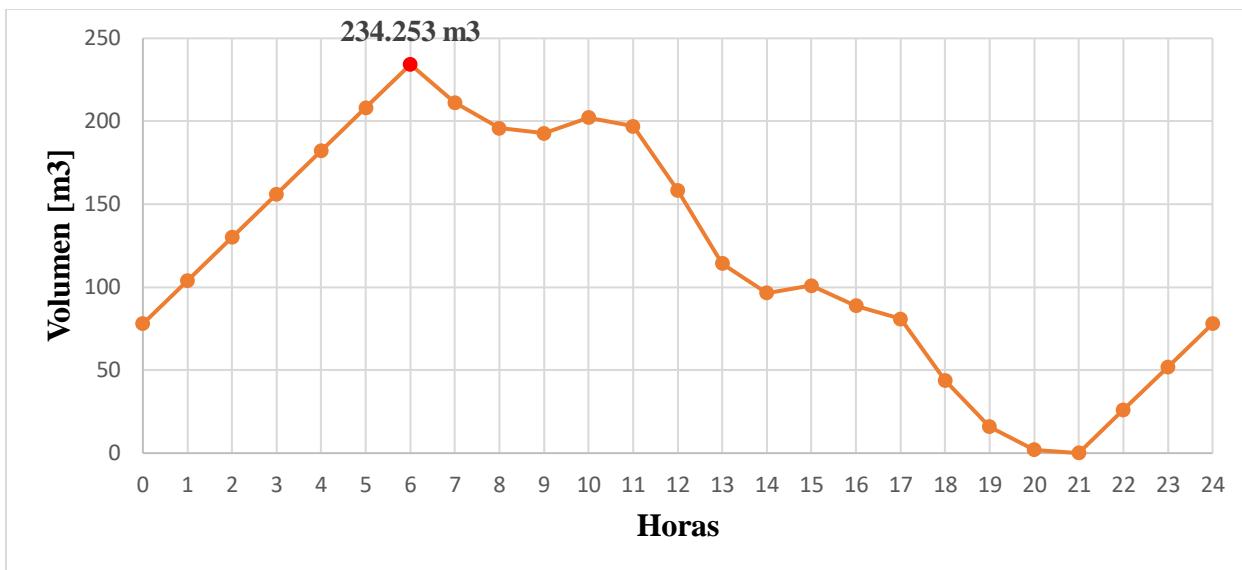


Figura 22 Variación del volumen de regulación de la red San Juan Alto.

Fuente. (Salazar, 2024).

Volumen de Regulación Red Carapungo.

Los resultados obtenidos en la **Figura 23** nos indican que el volumen de regulación de la Red Carapungo es de 102,48 m³. En la **Tabla 12** se observa que la mayor demanda de agua potable se presenta en horas de la tarde-noche, en los horarios de 16h00, 19h00 y 20h00 con valores de consumo de 25,75 m³/h, 30,45 m³/h y 31,93 m³/h, respectivamente. Para poder garantizar el suministro constante de agua potable se necesita un caudal de entrada al tanque de 3,44 l/s.

Tabla 12

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Carapungo.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	1	0,08	12,377	34,161	45,548
1	2	1	0,08	12,377	45,548	56,935
2	3	1	0,08	12,377	56,935	68,323
3	4	1	0,08	12,377	68,323	79,710
4	5	1	0,08	12,377	79,710	91,097
5	6	1	0,08	12,377	91,097	102,484

6	7	1	1,74	12,377	21,536	102,484	93,325
7	8	1	1,89	12,377	23,393	93,325	82,309
8	9	1	1,25	12,377	15,472	82,309	79,215
9	10	1	0,96	12,377	11,882	79,215	79,710
10	11	1	0,80	12,377	9,902	79,710	82,185
11	12	1	0,64	12,377	7,921	82,185	86,641
12	13	1	1,20	12,377	14,853	86,641	84,165
13	14	1	1,40	12,377	17,328	84,165	79,215
14	15	1	1,45	12,377	17,947	79,215	73,645
15	16	1	2,08	12,377	25,745	73,645	60,277
16	17	1	1,81	12,377	22,403	60,277	50,252
17	18	1	2,00	12,377	24,755	50,252	37,874
18	19	1	2,46	12,377	30,448	37,874	19,804
19	20	1	2,58	12,377	31,933	19,804	0,248
20	21	1	1,02	12,377	12,625	0,248	0,000
21	22	1	0,08	12,377	0,990	0,000	11,387
22	23	1	0,08	12,377	0,990	11,387	22,774
23	24	1	0,08	12,377	0,990	22,774	34,161

Fuente. (Salazar, 2024).

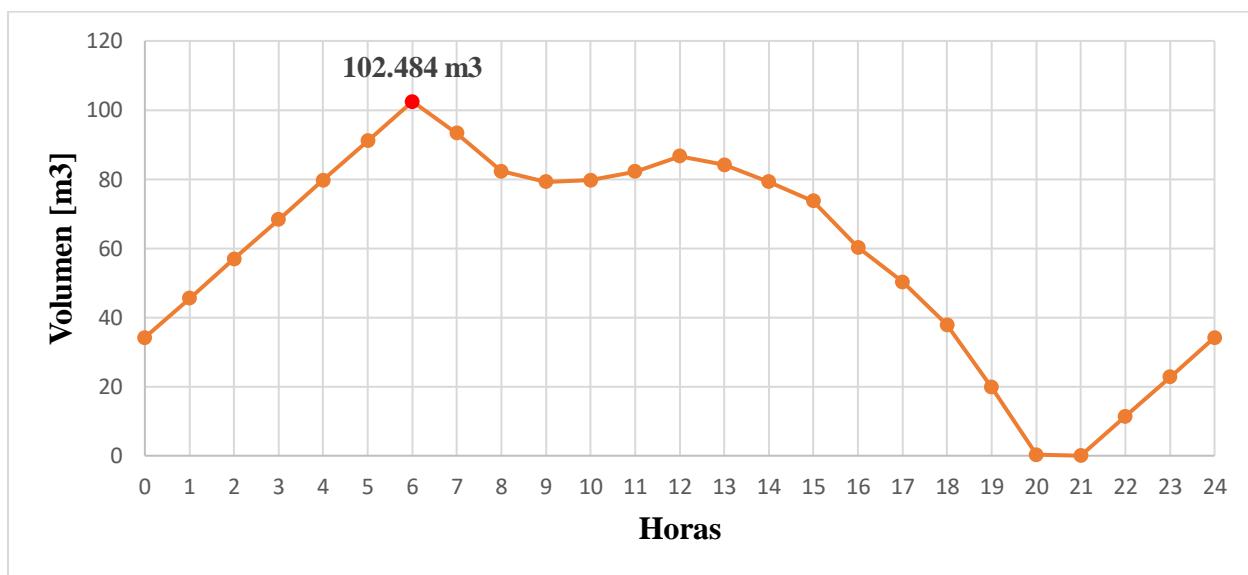


Figura 23 Variación del volumen de regulación de la red Carapungo.

Fuente. (Salazar, 2024).

4.4.2 Guano.

Volumen de Regulación Red La Inmaculada.

Como se observa en la **Tabla 13** para la red La Inmaculada el caudal de entrada es de 15,05 l/s, además, el mayor consumo es a las 19h00 con un caudal de salida de 126,25 m³/h. Sin embargo, en la mañana y medio día también existen picos altos de consumo. El volumen de regulación de la red La Inmaculada es de 311,56 m³, como se indica en la **Figura 24**.

Tabla 13

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red La Inmaculada.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	1	0,16	54,184	8,669	131,124
1	2	1	0,17	54,184	9,211	176,639
2	3	1	0,17	54,184	9,211	221,611
3	4	1	0,17	54,184	9,211	266,583
4	5	1	1,49	54,184	80,734	311,556
5	6	1	2,07	54,184	112,160	285,006
6	7	1	1,36	54,184	73,690	227,029
7	8	1	1,12	54,184	60,686	207,523
8	9	1	0,73	54,184	39,554	201,021
9	10	1	0,55	54,184	29,801	215,651
10	11	1	2,09	54,184	113,244	240,033
11	12	1	1,70	54,184	92,112	180,973
12	13	1	1,72	54,184	93,196	143,045
13	14	1	1,11	54,184	60,144	104,033
14	15	1	0,64	54,184	34,678	98,072
15	16	1	0,38	54,184	20,590	117,578
16	17	1	0,53	54,184	28,717	151,172
17	18	1	1,58	54,184	85,610	176,639
18	19	1	2,33	54,184	126,248	145,212
19	20	1	2,22	54,184	120,288	73,148
20	21	1	1,13	54,184	61,227	7,044
21	22	1	0,25	54,184	13,546	0,000
22	23	1	0,17	54,184	9,211	40,638
23	24	1	0,16	54,184	8,669	85,610
						131,124

Fuente. (Salazar, 2024).

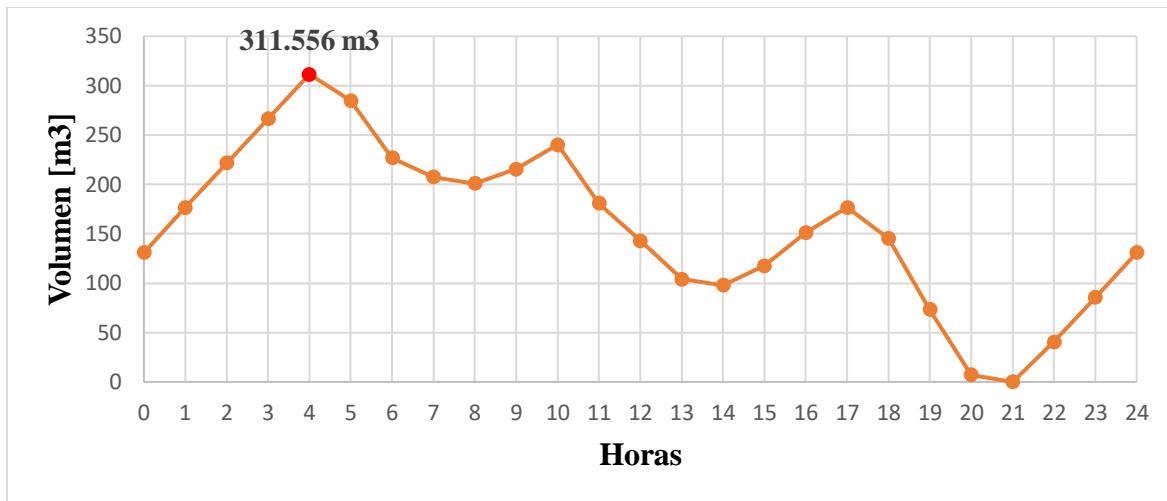


Figura 24 Variación del volumen de regulación de la red La Inmaculada.

Fuente. (Salazar, 2024).

Volumen de Regulación Red Lluishi.

Para la red Lluishi el volumen máximo se presenta a las 5h00 con un valor de 420,98 m³ como se indica en la **Figura 25**, este valor representa el volumen de regulación de la red Lluishi. Además, los picos más altos de consumo se presentan en horas de la mañana, medio día y noche, el consumo máximo se observó a las 12h00 con un caudal de salida de 161,54 m³/h como se muestra en la **Tabla 14**. Es necesario un caudal de entrada constante de 19,43 l/s para la red de Lluishi.

Tabla 14

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Lluishi.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	0,16	69,931	11,189	170,632	229,374
1	2	0,17	69,931	11,888	229,374	287,416
2	3	0,17	69,931	11,888	287,416	345,459
3	4	0,17	69,931	11,888	345,459	403,502
4	5	0,75	69,931	52,448	403,502	420,984
5	6	2,23	69,931	155,946	420,984	334,969
6	7	1,35	69,931	94,407	334,969	310,493
7	8	0,96	69,931	67,134	310,493	313,291

8	9	1	0,81	69,931	56,644	313,291	326,578
9	10	1	0,91	69,931	63,637	326,578	332,871
10	11	1	1,71	69,931	119,582	332,871	283,220
11	12	1	2,31	69,931	161,541	283,220	191,611
12	13	1	1,40	69,931	97,903	191,611	163,638
13	14	1	1,57	69,931	109,792	163,638	123,778
14	15	1	0,61	69,931	42,658	123,778	151,051
15	16	1	0,58	69,931	40,560	151,051	180,422
16	17	1	1,24	69,931	86,714	180,422	163,638
17	18	1	1,17	69,931	81,819	163,638	151,750
18	19	1	1,92	69,931	134,267	151,750	87,414
19	20	1	1,83	69,931	127,974	87,414	29,371
20	21	1	1,42	69,931	99,302	29,371	0,000
21	22	1	0,23	69,931	16,084	0,000	53,847
22	23	1	0,17	69,931	11,888	53,847	111,890
23	24	1	0,16	69,931	11,189	111,890	170,632

Fuente. (Salazar, 2024).

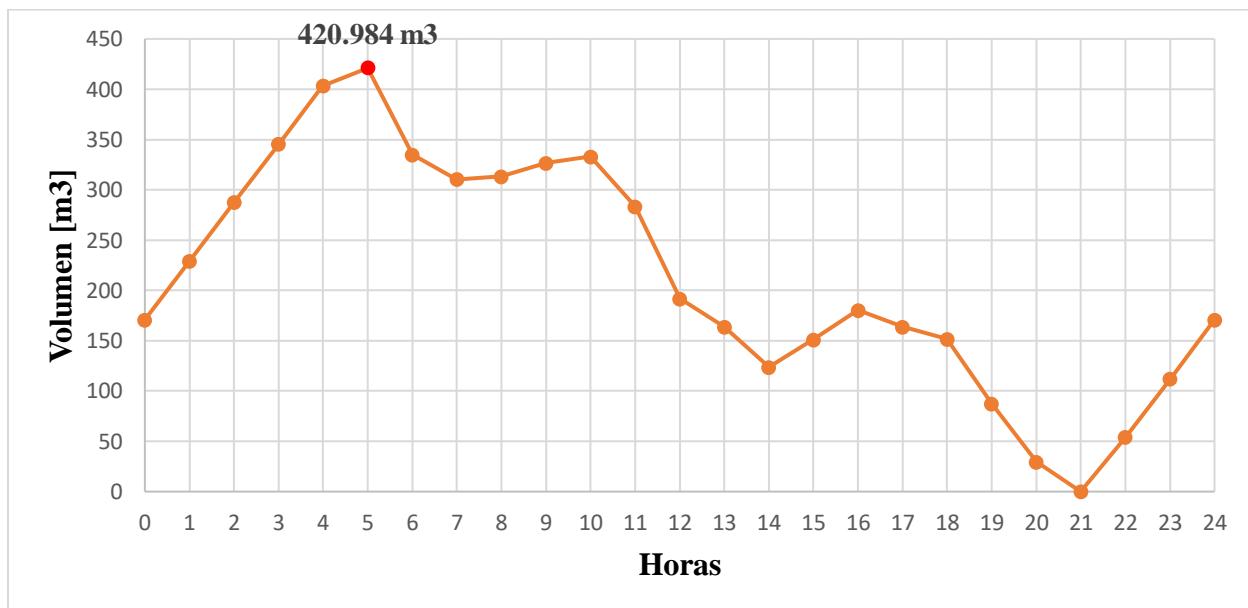


Figura 25 Variación del volumen de regulación de la red Lluishi.

Fuente. (Salazar, 2024).

Volumen de Regulación Red Barrios Altos.

En la **Figura 26** se puede observar que el volumen de regulación en la red Barrios Altos alcanza los 95,29 m³, siendo este el valor máximo registrado en la red a las 4h00. Este tanque es el único en el cantón Guano que muestra un volumen máximo tan temprano, para garantizar el suministro continuo de agua potable es necesario un caudal de entrada de 5,19 l/s, ya que el mayor consumo de agua potable ocurre a las 6:00, con un valor de 45,59 m³/h, como se detalla en la **Tabla 15**. Esto sugiere que los habitantes comienzan sus actividades más temprano.

Tabla 15

Volumen de regulación del tanque de reserva de la red Barrios Altos.

INTERVALO	No. Horas	Coeficiente de Modulación	Q Entrada [m ³ /h]	Q Salida [m ³ /h]	Volumen Inicial [m ³]	Volumen Final [m ³]
0	1	0,17	18,683	3,176	46,708	62,216
1	2	0,17	18,683	3,176	62,216	77,723
2	3	0,17	18,683	3,176	77,723	93,230
3	4	0,89	18,683	16,628	93,230	95,285
4	5	1,34	18,683	25,036	95,285	88,933
5	6	2,44	18,683	45,587	88,933	62,029
6	7	1,99	18,683	37,180	62,029	43,532
7	8	1,29	18,683	24,102	43,532	38,114
8	9	0,25	18,683	4,671	38,114	52,127
9	10	0,20	18,683	3,737	52,127	67,073
10	11	1,80	18,683	33,630	67,073	52,127
11	12	1,80	18,683	33,630	52,127	37,180
12	13	0,99	18,683	18,497	37,180	37,367
13	14	0,93	18,683	17,376	37,367	38,675
14	15	0,58	18,683	10,836	38,675	46,522
15	16	0,66	18,683	12,331	46,522	52,874
16	17	0,49	18,683	9,155	52,874	62,402
17	18	1,71	18,683	31,949	62,402	49,137
18	19	2,30	18,683	42,972	49,137	24,849
19	20	2,15	18,683	40,169	24,849	3,363
20	21	1,18	18,683	22,046	3,363	0,000
21	22	0,17	18,683	3,176	0,000	15,507
22	23	0,17	18,683	3,176	15,507	31,014

23	24	1	0,16	18,683	2,989	31,014	46,708
----	----	---	------	--------	-------	--------	--------

Fuente. (Salazar, 2024).

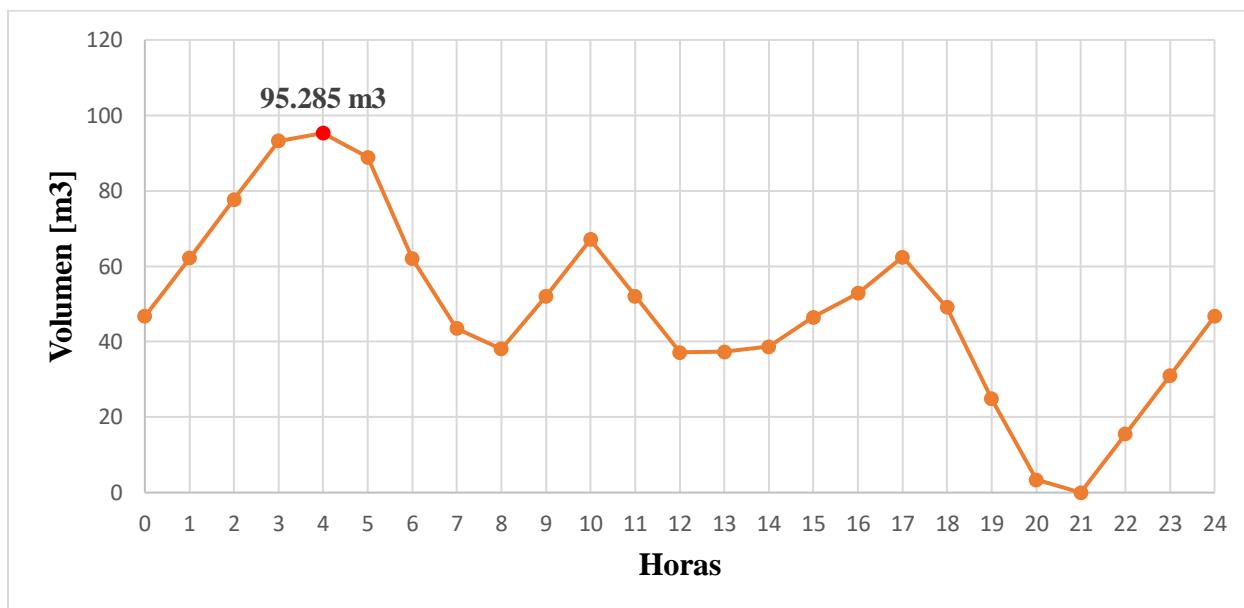


Figura 26 Variación del volumen de regulación de la red Barrios Altos.

Fuente. (Salazar, 2024).

4.5 Volumen total de los tanques de reserva por redes.

En la **Tabla 16** se indica el número de habitantes de cada red, el volumen de regulación de cada red, el volumen de protección contra incendios, el volumen de emergencia y el volumen final del tanque de reserva de cada red. Únicamente en el cantón Guano para la red de Lluishi fue necesario tener en cuenta un volumen adicional de protección contra incendios y de emergencias, esto debido a que la red tiene una población de 6132 habitantes.

Tabla 16

Volumen total de los tanques de reserva por redes de los cantones Guamote y Guano.

Cantón	Red	Población [habitantes]	Volumen de Regulación [m³]	Volumen Protección C/Incendios [m³]	Volumen de Emergencias [m³]	Volumen Tanque de Reserva [m³]
Guamote	San Juan Bajo	4394	517	0	0	517,000

Guano	San Juan Alto	2602	235	0	0	235,000
	Carapungo	791	103	0	0	103,000
	La Inmaculada	3512	312	0	0	312,000
	Lluishi	6132	421	124	106	651,000
	Barrios Altos	3121	96	0	0	96,000

Fuente. (Salazar, 2024).

4.6 Comparación del volumen de reserva de los tanques de reserva diseñado con los coeficientes máximos horarios vs el volumen actual de los tanques de reserva.

Como se indica en la **Tabla 17** en el cantón Guamote, solo la red Carapungo dispone de un volumen que supera al diseñado mediante los coeficientes de consumo máximo horario (kh). Por otro lado, la red San Juan Alto presenta un déficit de 35 m³, mientras que la red San Juan Bajo registra el mayor déficit del cantón, con un valor de 67 m³.

Tabla 17

Volumen de los tanques de reserva diseñados con los kh vs volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guamote.

Cantón	Red	Población [habitantes]	Volumen en Función de kh [m ³]	Volumen Existente [m ³]
Guamote	San Juan Bajo	4394	517.000	450
	San Juan Alto	2602	235.000	200
	Carapungo	791	103.000	150

Fuente. (Salazar, 2024).

En el cantón Guano, la red Lluishi tiene un déficit de 351 m³, lo que podría implicar que la población de esa red no tenga un suministro constante de agua potable, se tiene un déficit alto debido a que se consideró un volumen adicional de 130 m³ para emergencias y protección contra incendios. Asimismo, la red La Inmaculada tiene un déficit mucho menor de solo 12 m³, que se podría considerar no tan significativo. Por otro lado, la red Barrios Altos tiene un volumen muy superior al estimado con un volumen adicional de 154 m³, como se indica en la **Tabla 18**.

Tabla 18

Volumen de los tanques de reserva diseñados con los kh vs volumen actual de los tanques de reserva del cantón Guano.

Cantón	Red	Población [habitantes]	Volumen en Función de kh [m3]	Volumen Existente [m3]
Guano	La Inmaculada	3512	312.00	300
	Lluishi	6132	651.00	300
	Barrios Altos	3121	96.00	250

Fuente. (Salazar, 2024).

4.7 Discusión

El cantón Guamote se clasifica como una ciudad pequeña, según la clasificación propuesta por Arellano et al. (2018), debido a que en el último censo realizado en el 2022 cuenta con una población de 3076 habitantes. Mientras que Guano se clasifica como una ciudad mediana ya que cuenta con una población de 9136 habitantes. Esta clasificación nos ayuda a verificar que el tamaño de las ciudades y las costumbres están relacionadas con el consumo de agua potable.

Con relación al estudio realizado en el cantón Guamote donde Salazar (2022) propone un modelo matemático en el programa EPANET donde realiza un análisis del sistema de agua potable para identificar sus principales problemas, donde determinó que el principal problema son las presiones elevadas en la red San Juan Bajo por ende se registraba una gran cantidad de agua fugada, por lo tanto, calificó el rendimiento del sistema de agua potable como “inaceptable”. Además, encontró que la red que tiene mayor consumo es la red San Juan Bajo. En este estudio se evidencia el mayor consumo de agua potable en la red San Juan Bajo debido a que es la red que necesita un mayor volumen de reserva de agua potable con respecto a las redes de San Juan Alto y Carapungo.

Según el estudio de Moreno & Guamán (2023) y Llamuca & Vallejo (2023) donde se obtienen los coeficientes máximos de variación horaria de los cantones Guamote y Guano respectivamente, en el cantón Guano se consideró otro caudal medio lo cual modificó los coeficientes kh encontrando que para la red La Inmaculada es 2.33, la red Lluishi 2.31 y red Barrios Altos 2.44 mismos que siguen estando fuera del rango de la norma CPE INEN 5 (1992). Mientras

que para el cantón Guamote los coeficientes kh para la Red San Juan Bajo es 2.52, la red San Juan Alto es 2.55 y la red Carapungo 2.58, estos valores también se encuentran fuera del rango de 2-2.3 establecido por la norma, pero esto no quiere decir que los tanques de reserva no cubren la demanda de agua potable de estos cantones si no que existen altos consumo durante el día.

En el cantón Guamote, se ha verificado a través de los archivos de los registros de consumo mensuales entregados por la Jefatura de Alcantarillado y Agua Potable que algunos medidores instalados no registran consumo de agua potable. En la red San Juan Bajo, se determinó que 519 medidores consumen agua potable, lo que da como resultado un volumen de regulación de 257 m³. En la red San Juan Alto, hay 231 medidores que consumen agua potable, con un volumen de regulación de 102 m³ y en la red Carapungo solo 147 medidores consumen agua potable dando como resultado un volumen de regulación de 61 m³. Esto nos da como resultado que el cantón Guamote tiene 3783 habitantes lo que se valida con el censo realizado en el 2022. Se debe tener en cuenta que el Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado se ejecutó el 2017 pero los diseños se realizaron el 2014, por lo que los tanques de reserva deberían abastecer de agua potable hasta el 2039, teniendo así un periodo de diseño de 25 años.

Estos resultados indican que actualmente el cantón no enfrenta desabastecimiento de agua potable y esto se puede corroborar con los niveles de agua que se registraron durante una semana donde a las 16h00 se registran niveles superiores al 38%. Sin embargo, si todos los usuarios llegaran a consumir agua potable, los tanques de reserva no serían suficientes para garantizar un suministro constante. Este problema es evidente durante eventos festivos como el Carnaval, donde en la red San Juan Bajo y San Juan Alto el almacenamiento de agua potable no es suficiente para los habitantes que vienen en estas festividades. Por lo que, se opta por cerrar el suministro durante las horas de menor consumo para asegurar la disponibilidad de agua durante las horas pico.

En el cantón Guano, se observa una situación similar, según los registros de consumo mensual proporcionados por el Departamento de Agua Potable y Alcantarillado, se evidencia que varios medidores no tienen consumo de agua potable. En la red La Inmaculada, solo 415 medidores registran consumo de agua potable, lo que requiere un volumen de regulación de 155 m³. En la red Lluishi 1098 medidores consumen agua potable, dando como resultado un volumen de regulación de 317 m³; además no sería necesario considerar un volumen adicional de emergencia

y protección contra incendios. En la red Barrios Altos únicamente 693 medidores tienen consumo, necesitando un volumen de regulación de 89 m³.

Actualmente, se estima que el cantón Guano tienen una población de 9266 habitantes. Dado los volúmenes actuales de regulación y los niveles de agua registrados en los tanques de reserva, los resultados indican que el cantón no enfrenta problemas de desabastecimiento de agua potable. Los estudios del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado, realizados en el 2014 con un periodo de diseño de 25 años indican que el sistema está diseñado para abastecer de agua potable al cantón hasta el 2039.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

De acuerdo con el estudio realizado en las redes de distribución de los cantones Guamote y Guano, se concluye que los tanques de reserva satisfacen la demanda actual de agua potable de los 897 usuarios activos en Guamote y los 2206 en Guano. Únicamente la Red 5 Lluishi del cantón Guano presenta un déficit de 17 m³, pero esto se ve compensado con un mayor caudal de entrada al tanque, que actualmente es de 15,25 l/s, mientras que en el diseño es necesario solo 14,61 l/s.

El coeficiente de variación de consumo horario máximo en el cantón Guamote para la Red San Juan Bajo el kh es de 2,52, para la red San Juan Alto de 2,55 y para la red Carapungo de 2,58. En el cantón Guano para la red La Inmaculada el kh es de 2,33, para la red Lluishi 2,31 y para la red Barrios Altos de 2,44. Estos valores exceden el rango establecido en la norma CPE INEN 5 (1992) de 2 a 2,3.

En el cantón Guamote, para la Red San Juan Bajo, Red San Juan Alto y Red Carapungo, se requieren volúmenes de regulación de 257 m³, 102 m³ y 61 m³, respectivamente, mientras que los tanques de reserva existentes tienen una capacidad de 450 m³, 200 m³ y 150 m³. En el cantón Guano, para la Red La Inmaculada, Red Lluishi y Red Barrios Altos necesitan volúmenes de regulación de 155 m³, 317 m³ y 96 m³, respectivamente, frente a los 300 m³, 300 m³ y 250 m³ disponible.

En Guamote se presentan caudales grandes de consumo, debido a que los coeficientes kh son más altos con respecto a Guano, esto también se ve reflejado en el volumen de los tanques ya que Guamote necesita un volumen en sus tanques de reserva de 420 m³ pese a tener 1309 usuarios menos que en Guano que necesita 568 m³.

Los coeficientes kh están relacionados directamente con el consumo de agua potable, las costumbres, actividades económicas y la demografía de cada zona; por lo que se concluye que los coeficientes kh ayudan a determinar el volumen mínimo que deben tener los tanques de reserva para satisfacer las demandas máximas de agua durante las horas pico de consumo.

Con los niveles de agua potable tomados en campo, se evidenció que en Guamote para las redes San Juan Bajo, San Juan Alto y Carapungo los niveles más altos se presentan el miércoles a las 7h00, con niveles del 90,25%, 89,26% y 92,25%, respectivamente. Mientras que los niveles

más bajos se presentan los jueves a las 16h00 con niveles de 25%, 26% y 23%. En Guano por otro lado en los tanques de reserva sus niveles alcanzan el 100%, manteniéndose constante durante todo el día y el exceso de agua se distribuye por un sistema de desbordamientos hacia la quebrada, cultivos, el estadio e incluso directo a la alcantarilla.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar el presente estudio para el mejoramiento del sistema de distribución de los cantones Guamote y Guano o en ciudades de similares características tanto en población, demografía, actividades económicas y costumbres con el fin de realizar análisis comparativos con los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación.

Para el diseño de los tanques de reserva, se debe realizar un análisis detallado del caudal medio de la red y del número de usuarios activos, porque junto con los coeficientes kh ayudan a determinar el consumo diario de la red. Adicionalmente, considerar las horas de llenado del tanque, porque mientras menos horas de llenado mayor será el volumen del tanque, para asegurar el suministro durante las horas pico de consumo.

Recomiendo utilizar el presente proyecto de investigación como referencia para futuros diseños o ampliaciones en las redes de distribución enfocados en los coeficientes máximos horarios (kh).

Se sugiere que las jefaturas que administran regulan y abastecen de agua a los cantones Guamote y Guano realicen un monitoreo constante y/o permanente de los niveles de agua en los tanques de reserva. Además de realizar estudios del coeficiente máximo horario (kh), cada cierto periodo de tiempo acoplándolos con la realidad demográfica y socioeconómica.

BIBLIOGRAFÍA.

- Agüero, R. (1997). *Agua Potable Para Poblaciones Rurales Sistemas de Abastecimiento por Gravedad.*
- Agüero, R. (2004). *GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS.*
- AME. (2022a). *CANTÓN GUAMOTE.* <https://ame.gob.ec/2010/05/20/canton-guamote/>
- AME. (2022b). *CANTÓN GUANO.* <https://ame.gob.ec/2010/05/20/canton-guano/>
- 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., González, J., & Gavilanes, A. (2012). *MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN URBANÍSTICA Y SOCIOECONÓMICA PARA POBLACIONES MENORES QUE 150.000 HABITANTES.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17722.21446>
- 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>
- Arias, F., & Carrión, J. (2023). *DETERMINACIÓN DEL CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE DE LAS PARROQUIAS SAN ANDRÉS Y SAN ISIDRO DE PATULÚ PERTENECIENTES AL CANTÓN GUANO.*
- ASDWA. (2020). *State Drinking Water Distribution System Survey.* <https://www.epa.gov/dwsixyearreview/drinking-water->
- Caiza, Á. (2019). *CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DIARIO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL SECTOR SANTA ROSA DEL CANTÓN AMBATO.*
- Clark, R., Abdesaken, F., Boulos, P., & Mau, R. (1996). MIXING IN DISTRIBUTION SYSTEM STORAGE TANKS: ITS EFFECT ON WATER QUALITY. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING.*

- CONAGUA. (2019). *Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. www.conagua.gob.mx
- Elvira, A. (2011). *MEJORAMIENTO DEL CAUDAL Y EL PROCESO DE CLORACIÓN DEL AGUA CONSIDERANDO TANQUES DE REGULARIZACIÓN*.
- EMAAP Quito. (2007). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q*.
- GAD Municipal de Guamote. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN GUAMOTE*.
- GAD Municipal de Guamote. (2020). *PLAN ESTRATEGICO INSTITUCIONAL*.
- GADM Guano. (2021). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN GUANO*.
- Garzón, A., & Ortiz, R. (2014). *DETERMINACIÓN DE CONSUMOS REALES DE AGUA POTABLE PARA USUARIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. <https://www.researchgate.net/publication/281639174>
- Grayman, W., Rossman, L., Deininger, R., Smith, C., Arnold, C., & Smith, J. (2004). Mixing and aging of water in distribution system storage facilities. In *Journal (American Water Works Association)* (Vol. 96, Issue 9). <http://www.jstor.org> URL: <http://www.jstor.org/stable/41311897>
- INEN. (1992). *CPE INEN 5 Parte 9-1: Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
- Llamuca, M. P., & Vallejo, J. P. (2023). *ANÁLISIS DEL CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN GUANO*.
- 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*. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1865/Llanos-LiendoDiego.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, R. (2003). ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADO. *Escuela Colombiana de Ingeniería.*

Magne, F. (2008). *ABASTECIMIENTO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE MODERNIZANDO EL APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA EN LA ASIGNATURA DE INGENIERÍA SANITARIA I.*

Martínez, S., Escolero, O., Kralisch, S., & Perevochtchikova, M. (2016). *Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México*, México.

Mena, R., Cruz, J., Hernández, A., & Rivero, G. (2015). LOS TANQUES DE REGULARIZACIÓN, ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN AL SERVICIO INTERMITENTE DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR “BACHILLERES”, CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO. In *Aqua-LAC* (Vol. 7, Issue 1).

Monteiro, L., Pinheiro, A., Carneiro, J., & Covas, D. (2021). Characterization of drinking water storage tanks in Portugal. *Ingeniería Del Agua*, 25(1), 49. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13659>

Moreno, E. C., & Guamán, M. C. (2023). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN GUAMOTE.*

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.*

OMS. (2023, September 13). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Salazar, C. (2022). *MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUA POTABLE MEDIANTE GESTIÓN Y MODELACIÓN MATEMÁTICA DE UN SISTEMA RURAL ANDINO.*

Zúñiga, M., Calderón, E., Tello, M. I., Andrade, A., & Arellano, A. (2024). Methodology for the Generation of Hourly Residential Drinking Water Consumption Curves and Their

Relationship with the Consumption of Socioeconomic Strata. *Civil Engineering and Architecture*, 12(4), 2532–2546. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120403>

Zuñiga, M. G. (2019). *ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR*.

ANEXOS.

Anexo 1

Ficha para la caracterización de los tanques de reserva.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
CARACTERIZACIÓN DE LOS TANQUES DE RESERVA				
Fecha:				
Categoría	Subcategoría	Datos	Unidades	Notas
Identificación	ID Tanque		-	
	Red a la que abastece		-	
	Número de Usuarios		medidores	
Ubicación	Coordinadas (UTM)		m	Coordenadas geográficas
	Forma		-	Indicar si es rectangular, circular, u
Dimensiones	Ancho		m	Si es aplicable (tanque rectangular)
	Largo		m	Si es aplicable (tanque rectangular)
	Diámetro		m	Si es aplicable (tanque circular)
Capacidad	Altura		m	
	Volumen total		m ³	
	Altura libre		m	Para la ventilación del tanque
Construcción	Volumen de regulación		m ³	
	Material		-	
Estado	Año de Construcción		año	
	General		-	Escala: Bueno, Regular, Malo
	Estructura		-	Evaluación visual
Operación	Impermeabilización		-	Escala: Bueno, Regular, Malo
	Horas de Llenado		horas	Horario durante el cual se llena el
	Método de Llenado		-	Indicar si es mediante bomba o gravedad
Operación	Válvulas de Entrada/Salida		-	Descripción del número y tipo de válvulas
	Compartimientos		-	Si el tanque tiene dos compartimientos para facilitar la limpieza
	Frecuencia de limpieza		-	
Costos	# de personas encargadas del mantenimiento		-	
	Energía Eléctrica		USD	
	Mantenimiento		USD	Incluye limpieza, desinfección, reparaciones menores
OBSERVACIONES:				

Anexo 2

Ficha para el registro de los niveles de agua en los tanques de reserva.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					Unach UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO <i>en movimiento</i>
FACULTAD DE INGENIERÍA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
NIVELES DE AGUA EN LOS TANQUES DE RESERVA						
ID Tanque:						
Red a la que abastece:						
Altura total del nivel de agua:						
Fecha de inicio de medición:						
Fecha de fin de medición:						
Día	Fecha	Hora	Altura	Nivel de agua	Observaciones	
Lunes						
Martes						
Miércoles						
Jueves						
Viernes						
Sábado						
Domingo						
NOTA: La altura del agua se tomara desde la parte inferior del tanque y los niveles de agua deben estar en porcentaje.						