



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO
HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LA
CIUDAD DEL PUYO**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Jahir Alexander Valverde Gamboa

Tutor:

MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

Riobamba, Ecuador. 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Valverde Gamboa Jahir Alexander** con **CC: 1600695694**, autor del trabajo de investigación de titulación titulado: **“DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DEL PUYO”** certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 11 de abril de 2024.

Jahir V.

Jahir Alexander Valverde Gamboa
CC: 1600695694

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quien suscribe, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DEL PUYO**” presentado por Jahir Alexander Valverde Gamboa, con cédula de ciudadanía 160069569-4, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su tutor; no teniendo más nada que observar.

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

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DEL GRADO



Ing. Nelson Estuardo Patiño Vaca Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DEL GRADO



Ing. Jessica Paulina Brito Noboa Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DEL GRADO



Ing. María Gabriela Zúñiga MSc.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DEL PUYO”** presentado por **Jahir Alexander Valverde Gamboa**, con cédula de ciudadanía **160069569-4**, bajo la tutoría de **Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

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

Presidente del Tribunal de Grado

Ing. MSc. Alfonso Patricio Arellano Barriga

Miembro del Tribunal de Grado

Ing. Nelson Estuardo Patiño Vaca Mgs.

Miembro del Tribunal de Grado

Ing. Jessica Paulina Brito Noboa Mgs.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



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

CERTIFICACIÓN

Que, **VALVERDE GAMBOA JAHIR ALEXANDER** con CC: **1600695694**, estudiante de la Carrera **INGENIERIA CIVIL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DEL PUYO**", cumple con el **9 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 2 de marzo de 2023

Ing. María Gabriela Zúñiga MSc.
TUTOR(A)

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo a mis brindaron durante todo este proceso universitario y durante toda mi vida.

Agradezco a la Ing. Gabriela Zúñiga por guía durante este proyecto de titulación con su completa apertura a resolver cualquier inquietud, enseñanza y confianza.

También agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo y a todos sus docentes por la dedicación, instrucción y tiempo que impusieron en mi para culminar con la carrera de ingeniería civil.

Jahir Alexander Valverde Gamboa

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| DERECHOS DE AUTORÍA | |
| DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL | |
| CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL | |
| CERTIFICADO ANTIPLAGÍO | |
| DEDICATORIA..... | |
| AGRADECIMIENTO..... | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1. Antecedentes | 12 |
| 1.1.1. Captación y Almacenamiento..... | 13 |
| 1.1.2. Redes de distribución..... | 14 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 17 |
| 1.3. Objetivos | 18 |
| 1.4.1. General..... | 18 |
| 1.4.2. Específicos | 18 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 19 |
| 2.1. Caudales de diseño | 19 |
| 2.2. Consumo de agua potable | 19 |
| 2.2. Factores que influyen en el consumo de agua potable | 19 |
| 2.3. Curva característica de consumo diario..... | 20 |
| 2.4. Estado del arte | 20 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA | 22 |
| 3.1. Tipo de investigación..... | 22 |
| 3.2. Esquema metodológico..... | 22 |
| 3.3. Técnicas de recolección de datos | 22 |
| 3.4. Población de estudio y tamaño de muestra | 22 |
| 3.4.1. Población..... | 22 |
| 3.4.2. Muestra | 23 |
| 3.5. Procesamiento y análisis de datos | 23 |
| 3.5.1. Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística | 23 |
| 3.5.2. Procesamiento y análisis de datos para la aplicación de encuestas | 24 |
| 3.5.3. Procesamiento y análisis de datos recolectados en campo..... | 24 |
| 3.5.3.1. Delimitación de la muestra para la lectura de medidores..... | 24 |

| | | |
|--|---|----|
| 3.5.3.2. | Medición horaria de los volúmenes horarios de agua potable..... | 25 |
| 3.5.4. | Descripción del equipo de medición de caudales | 26 |
| 3.6. | Procesamiento y análisis estadístico..... | 27 |
| 3.6.1. | Tabulación de datos iniciales..... | 27 |
| 3.6.2. | Validación de datos | 28 |
| 3.6.3. | Modelación de curva horaria..... | 29 |
| 3.6.4. | Caudal de fugas de fondo..... | 29 |
| 3.6.5. | Coefficiente de modulación horaria..... | 29 |
| CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 30 |
| 4.1. | Factores que inciden en el consumo de agua potable..... | 30 |
| 4.1.1. | Estratificación socioeconómica..... | 30 |
| 4.1.2. | Moradores por vivienda..... | 31 |
| 4.1.3. | Mecanismos sanitarios..... | 32 |
| 4.1.4. | Tipo de Almacenamiento | 32 |
| 4.1.5. | Calidad del agua | 33 |
| 4.2. | Curvas de consumo horario residencial..... | 34 |
| 4.2.1. | Consumos horarios por redes de distribución | 34 |
| 4.2.2. | Consumos horarios por estratos socioeconómicos | 37 |
| 4.2.3. | Coefficiente de modulación horaria..... | 39 |
| 4.3. | Discusión..... | 42 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 45 |
| 5.1. | Conclusiones..... | 45 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 47 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Fuentes de captación..... | 13 |
| Tabla 2. Tanques de alimentación de la ciudad de Puyo..... | 14 |
| Tabla 3. Cobertura por barrios de cada red de distribución de agua potable..... | 16 |
| Tabla 4. Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable..... | 19 |
| Tabla 5. Categorización de una manzana..... | 24 |
| Tabla 6. Categorización socioeconómica..... | 24 |
| Tabla 7. Número de medidores de acuerdo con la red de distribución..... | 25 |
| Tabla 8. Tipos de medidores en la ciudad del Puyo..... | 26 |
| Tabla 9. Segmentación de viviendas según su estrato socioeconómico..... | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Puyo..... | 13 |
| Figura 2. Tanques de almacenamiento de la ciudad de Puyo..... | 14 |
| Figura 3. Ubicación de redes de distribución de agua potable en el Puyo..... | 15 |
| Figura 4. Barrios de la ciudad del Puyo..... | 16 |
| Figura 5. Curva característica de consumo diario..... | 20 |
| Figura 6. Esquema metodológico de la investigación..... | 22 |
| Figura 7. Redes de Distribución incluyendo barrios de la ciudad del Puyo..... | 23 |
| Figura 8. Distribución de la muestra en la ciudad del Puyo..... | 25 |
| Figura 9. Plantilla de registro y consumo volumétrico de agua potable..... | 26 |
| Figura 10. Diagrama de dispersión de la red de distribución 1 (La Constructora)..... | 27 |
| Figura 11. Diagrama de dispersión de la red de distribución 2 (La Isla)..... | 27 |
| Figura 12. Diagrama de cajas y bigote de la red de distribución 1 (La Constructora)..... | 28 |
| Figura 13. Diagrama de cajas y bigote de la red de distribución 2 (La Isla)..... | 28 |
| Figura 14. Tabulación de los estratos socioeconómicos..... | 30 |
| Figura 15. Ubicación de medidores con respecto a su estrato socioeconómico y red de distribución..... | 31 |
| Figura 16. Promedio de moradores por vivienda..... | 31 |
| Figura 17. Porcentaje de unidades sanitarias..... | 32 |
| Figura 18. Porcentaje de tipo de almacenamiento..... | 33 |
| Figura 19. Promedio de calidad de agua..... | 34 |
| Figura 20. Curvas de variación de consumo horario de las redes de distribución..... | 36 |
| Figura 21. Curvas del consumo horario residencial..... | 38 |
| Figura 22. Comparación de coeficientes máximos de variación de consumo horario de las redes de distribución vs el valor de la norma (CPE INEN 5, 1992)..... | 40 |
| Figura 23. Comparación de coeficientes máximos [Kh] de cada red de distribución de la ciudad del Puyo..... | 43 |
| Figura 24. Comparativa de los valores máximos de Kh en diversas zonas del Ecuador..... | 44 |

RESUMEN

El aprovechamiento del agua está influenciado por varios factores naturales, así como también por los hábitos y costumbres del ser humano. De esta manera, el propósito del estudio consiste en analizar el consumo horario de agua potable de zonas residenciales de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Es así como se identificaron un total de 6 redes de distribución: la Constructora, La Isla, Palestina 1, Palestina 2, San Vicente y Victoria de León 1. Se aplicó el método de caracterización urbanística y socioeconómica de (Arellano et al., 2012), obteniendo como resultados los estratos A, B, C y D para todas las redes de distribución, con excepción de la red 2 ya que solo cuenta con 3 estratos socioeconómicos A, B y C. Los principales factores que se tomaron en cuenta para determinar las variaciones del consumo de agua son: la cantidad de usuarios en las viviendas, instalaciones sanitarias, dispositivos de almacenamiento y calidad del agua. La muestra para este estudio es de 402 viviendas, se realizó la lectura de medidores domiciliarios de agua potable a lo largo de 7 días durante las 24 horas del día, obteniendo las curvas de consumo horario de cada red. Los caudales máximos (Q_{max}) de todas las redes se alcanzaron en las horas 07h00, (12h00 o 13h00) y (19h00 u 20h00). El caudal máximo de toda la ciudad del Puyo se obtuvo en la tarde a la 13h00, con un $Q_{max}=134.44$ l/h en la red de distribución 6 (Victoria de León 1). Por último, se calculó los coeficientes de consumo (kh) en base a la norma CPE INEN 5 (1992), evidenciando que en la mayoría de las redes de distribución excede el rango establecido (2.0 – 2.3). El máximo coeficiente de consumo (kh) se obtuvo en la red de distribución 1 (La Constructora), a las 12h00, con un valor de 3.053.

Palabras clave: redes de distribución, estratos socioeconómicos, curvas de consumo, caudal máximo, coeficiente de consumo.

ABSTRACT

The utilization of water is influenced by various natural factors, as well as by human habits and customs. Thus, the study aims to analyze the hourly consumption of drinking water in residential areas of Puyo, Pastaza canton, Pastaza province. Thus, six distribution networks were identified: *La Constructora*, *La Isla*, *Palestina 1*, *Palestina 2*, *San Vicente*, and *Victoria de León 1*. The urban and socioeconomic characterization method by Arellano et al. (2012) was applied, resulting in strata A, B, C, and D for all distribution networks, except for network two, which only has three socioeconomic strata A, B, and C. The main factors considered to determine variations in water consumption are the number of household users, sanitary installations, storage devices, and water quality. The sample for this study consists of 402 households. Meter readings of potable water were conducted over seven days, covering all 24 hours daily, resulting in the hourly consumption curves for each distribution network. The maximum flows (Q_{max}) for all networks were reached at 07:00, (12:00 or 13:00), and (19:00 or 20:00) hours. The maximum flow for Puyowas obtained at 1:00 p.m., with a Q_{max} of 134.44 l/h in *Victoria de León 1* distribution network six. Finally, the consumption coefficients (kh) were calculated based on the CPE INEN 5 standard (1992), showing that in most distribution networks, it exceeds the established range (2.0 - 2.3). The maximum consumption coefficient (kh) was obtained in *La Constructora* distribution network one at 12:00, with a value of 3.053.

Keywords: distribution networks, socioeconomic strata, consumption curves, maximum flow, consumption coefficient.



Reviewed by:

Lic. Jenny Freire Rivera

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La tasa de crecimiento de la demanda de agua dulce sigue aumentando en la mayoría de las economías emergentes, así como en los países de ingresos medios y bajos. Este incremento se atribuye en gran medida a una combinación del crecimiento poblacional, el desarrollo económico y cambios en los patrones de consumo (UNESCO, 2021).

El derecho al acceso a los servicios de agua potable es fundamental para todos los seres humanos y se reconoce como un servicio público. De esta manera, es responsabilidad de cada entidad gubernamental proporcionar este servicio a la población, asegurando que dispongan de la cantidad necesaria para sus necesidades y consumo, con el fin de garantizar su bienestar y dignidad (Carla & Bryan, 2021).

Los niveles de consumo de agua potable fluctúan de acuerdo con las particularidades de las poblaciones, siendo elementos clave para determinar las asignaciones mínimas de diseño en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Las dotaciones utilizadas en los estudios para la planificación de los sistemas de agua potable en Ecuador se fundamentan actualmente en la normativa vigente CPE INEN 5 y no ha recibido actualizaciones importantes hasta ahora.

La falta de suministro de agua potable en diversas comunidades ecuatorianas podría atribuirse a una elección inapropiada de las asignaciones utilizadas (Arellano et al., 2018). Al no asegurar la provisión de agua potable a los usuarios, se les está privando de un derecho fundamental.

El suministro de agua potable en el cantón Pastaza está focalizado en la ciudad de Puyo. En la actualidad, la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Pastaza reporta una cobertura del servicio del 63.05% (GADM Pastaza, 2019).

Puyo, es una urbe de Ecuador, que sirve como centro administrativo del Cantón Pastaza y es la capital de la Provincia de Pastaza. Es la ciudad más extensa y habitada de la provincia con una población de 33,659 habitantes.

Está situada en el margen izquierdo del río Puyo, en la parte central-occidental de la región amazónica ecuatoriana. Tiene una altitud de aproximadamente 930 metros sobre el nivel del mar. Presenta un clima tropical lluvioso con temperaturas cercanas a los 20 °C. aproximadamente. Se ubica en las coordenadas UTM: 17M 833580.8533 E; 9835781.2230 N (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pastaza, 2023).

La ciudad de Puyo está rodeada por otros 3 cantones, por el sur se encuentra el cantón Mera, en el sureste está el cantón Santa Clara, y por el noreste se encuentra el cantón Arajuno. Estos cantones conforman la provincia de Pastaza (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pastaza, 2023).

La zona de estudio es el sector urbano perteneciente a la ciudad de Puyo. En la siguiente **Figura 1** se muestra su ubicación geográfica.

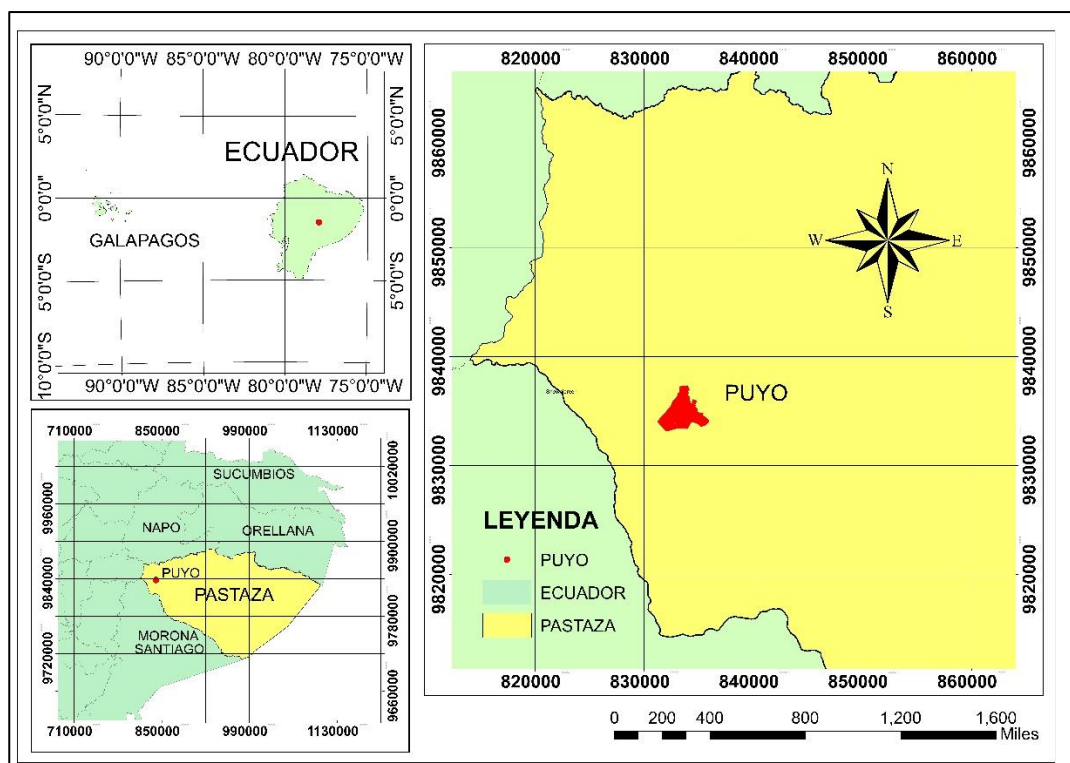


Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Puyo.

Fuente. (Valverde J.,2023).

1.1.1. Captación y Almacenamiento

Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial en el cantón Pastaza se obtiene agua de seis fuentes de captación, y todas ellas están autorizadas para su uso y aprovechamiento, alcanzando un cumplimiento del 83.33%, ver **Tabla 1** (GADM Pastaza, 2019). Además, disponen de una planta de tratamiento encargada de purificar estas aguas para el consumo humano.

Tabla 1.
Fuentes de captación

| | Fuentes de captación | Con Autorización de uso | Plantas de tratamiento | Ubicación |
|---|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | Río Pindo Grande | SI | San Vicente | Paso lateral sector Arboriente |
| 2 | Río Pindo Chico | SI | | |
| 3 | Río Puyo | SI | Palestina | Paso lateral sector Universidad Estatal |
| 4 | Río Pambay | SI | | |
| 5 | Vertiente las Viejas | SI | | |
| 6 | Río Blanco | EN TRÁTAMITE | El Rosal | Vía al Tena pasando Fátima |

Fuente: (GADM Pastaza, 2019).

En la **Figura 2** se puede observar la ubicación de las plantas de tratamiento antes mencionados y los tanques de alimentación.

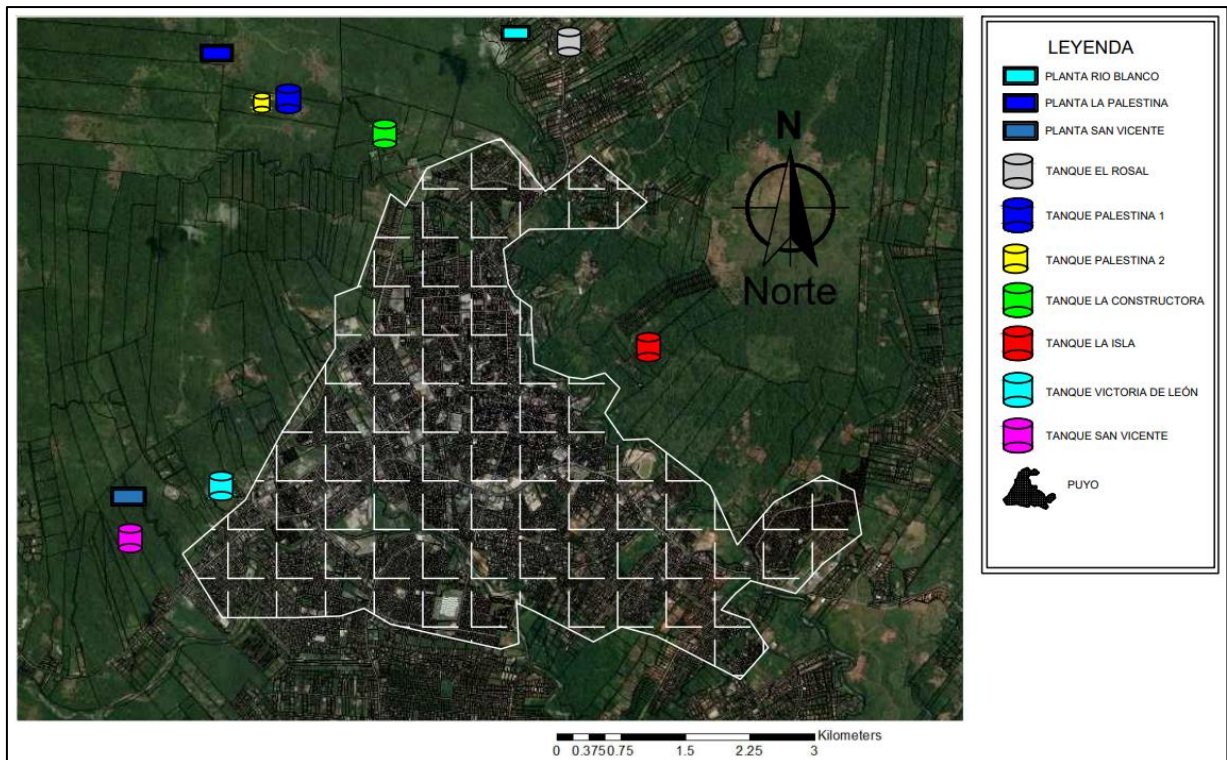


Figura 2. Tanques de almacenamiento de la ciudad de Puyo.

Fuente. (Valverde J.,2023).

En la **Tabla 2** se muestran los datos de volumen de almacenamiento de cada tanque y su nivel de operación:

Tabla 2.

Tanques de alimentación de la ciudad de Puyo.

| Tanques de Almacenamiento | Volumen de almacenamiento [m3] | Nivel mínimo de operación [msnm] | Nivel máximo de operación [msnm] |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| San Vicente | 1500 | 1026.00 | 1030.00 |
| Victoria de León 1 | 1000 | 967.47 | 971.47 |
| La Constructora | 1000 | 967.92 | 980.92 |
| La Isla | 1000 | 966.00 | 970.18 |
| Rosal | 1000 | 1024.00 | 1028.69 |
| Palestina 1 | 1000 | 996.00 | 1000.15 |
| Palestina 2 | 300 | 996.00 | 1000.15 |

Fuente: (Estacio, 2019).

1.1.2. Redes de distribución

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pastaza (EMAPAST-EP) ha segmentado la ciudad del Puyo en 6 redes de distribución de agua potable.

Las redes 2 y 4 que están abastecidas por los tanques de almacenamiento la Isla y Palestina 2. Estas redes abarcan el centro de la ciudad y albergan aproximadamente el 70% de la población, así como todos los entes financieros, administrativos y comerciales.

Por otro lado, las redes 1, 3, 5 y 6 están conectadas con los tanques La Constructora, Palestina 1, San Vicente y Victoria de León 1 respectivamente, comprenden a las zonas de expansión donde se ubican las nuevas urbanizaciones. Como se visualiza en la **Figura 3**.

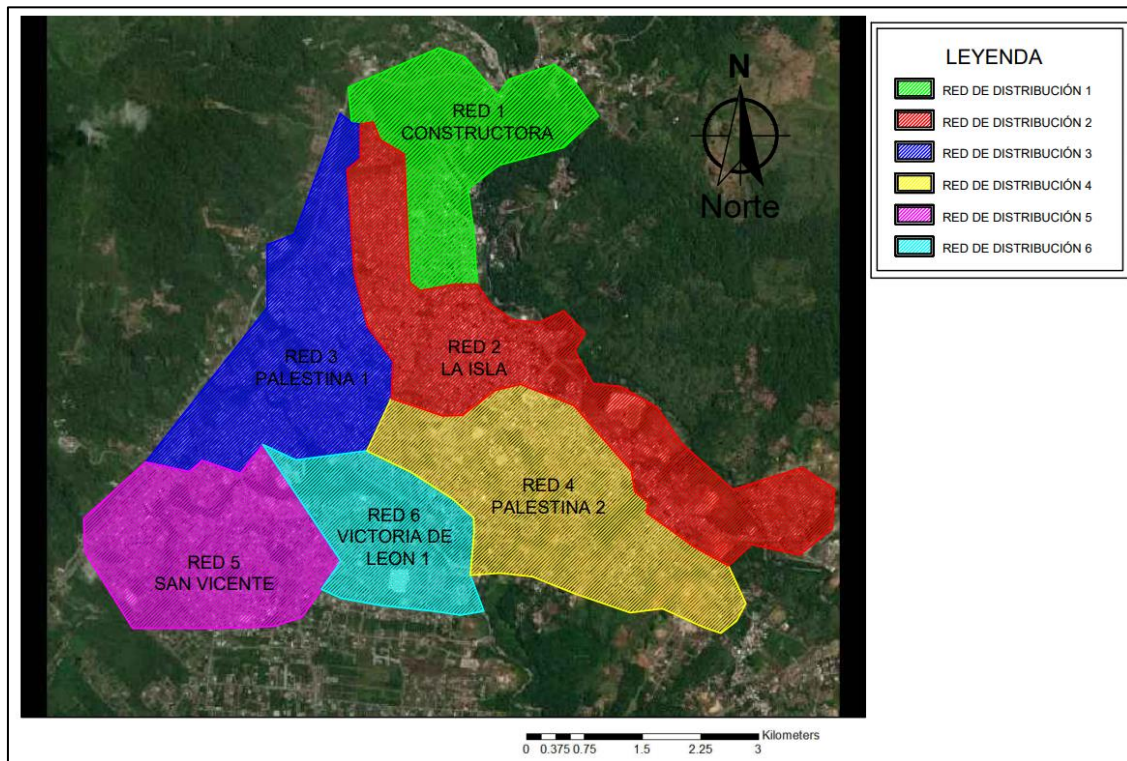


Figura 3. Ubicación de redes de distribución de agua potable en el Puyo.

Fuente. (Valverde J.,2023).

En la **Figura 4** se puede apreciar los 20 barrios que se encuentran dentro de la ciudad del Puyo, los cuales son: Pambay, Vicentino, Ciudadela del Chofer, Obrero, Cumanda, Miraflores, Intipungo, Amazonas, 12 de Mayo, Libertad, México, Mariscal, El Dorado, Nuevos Horizontes, Santo Domingo, La Merced, La Unión, Las Palmas y El Recreo.

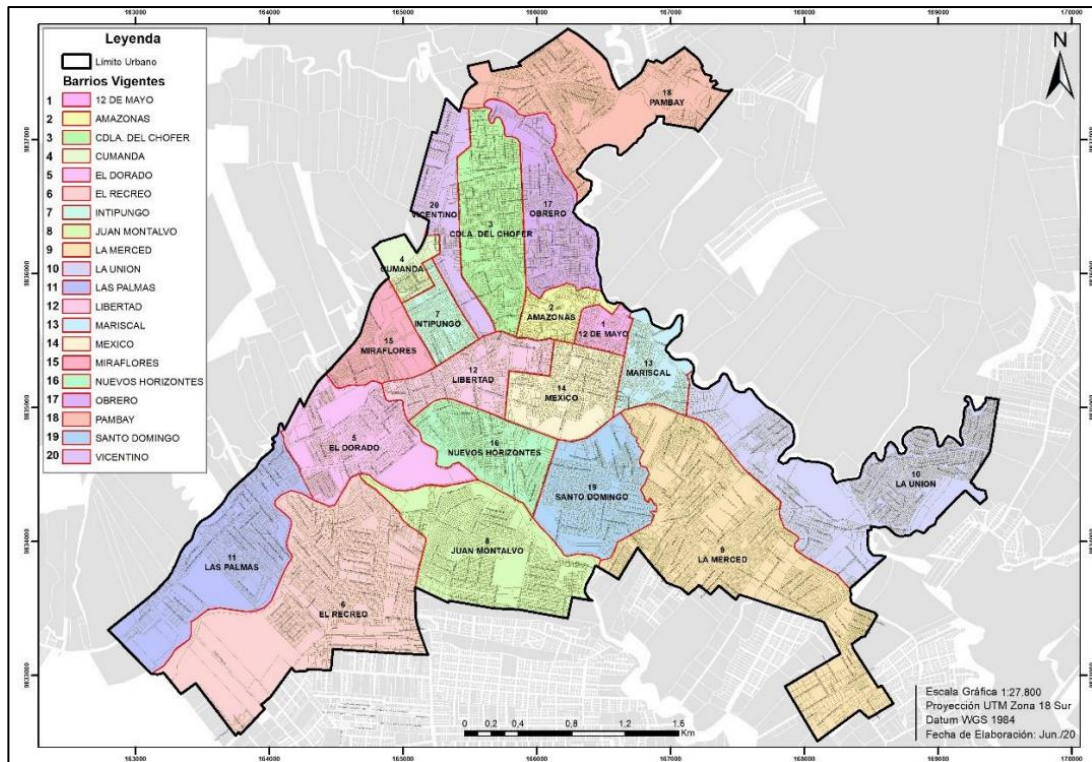


Figura 4. Barrios de la ciudad del Puyo.

Fuente:(GADM Pastaza, 2020).

En la **Tabla 3** se observan los barrios que corresponden a cada red de distribución.

Tabla 3. Cobertura por barrios de cada red de distribución de agua potable.

| Red | Tanque de Almacenamiento | Barrio abastecido |
|--------------|---------------------------------|--------------------------|
| Red 1 | La Constructora | Pambay |
| | | Obrero |
| Red 2 | La Isla | Cdla. Del Chofer |
| | | Amazonas |
| | | 12 de Mayo |
| | | México |
| | | Mariscal |
| | | La Unión |
| | | Libertad |
| Red 3 | Palestina 1 | Vicentino |
| | | Cumanda |
| | | Intipungo |
| | | Miraflores |
| | | Libertad |
| | | El Dorado |
| Red 4 | Palestina 2 | Nuevos Horizontes |
| | | Santo Domingo |
| | | La Merced |
| Red 5 | San Vicente | Las Palmas |
| | | El Recreo |
| Red 6 | Victoria de León 1 | Juan Montalvo |

Fuente. (Valverde J.,2023).

Pastaza tiene una cobertura poblacional del 65.5% a nivel cantonal (SENPLADES, 2014). El sistema de redes de distribución brinda servicio continuo de agua potable las 24 horas del día. La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pastaza (EMAPAST-EP) controla el consumo a través de registros mensuales basados en lecturas micrométricas de campo.

Las estructuras de captación en las plantas de tratamiento de agua en la ciudad del Puyo enfrentan diversos problemas relacionados con las características geológicas de las cuencas. Durante períodos de lluvias intensas, se generan flujos de lodo en los ríos que obstruyen las estructuras de cierre y afectan la calidad del agua captada (Estacio, 2019).

Según EMAPAST-EP (2021), la situación se agrava debido al crecimiento de barrios informales en áreas periféricas de la ciudad, los cuales no cumplen con las regulaciones de construcción y permisos municipales. Esta expansión descontrolada obliga a implementar un racionamiento del suministro de agua, con horarios restringidos, lo que lleva a los residentes a construir cisternas y tanques elevados para almacenar reservas de agua y enfrentar la escasez (Alulema & Estrada, 2023).

Aunque se suministra una considerable cantidad de agua a las redes de distribución, la cobertura de agua potable sigue siendo insuficiente. Se ha observado la falta de un suministro continuo de agua potable las 24 horas del día en ciertas zonas de la ciudad del Puyo. Asimismo, en algunos casos la presión del agua es mínima y la calidad del agua distribuida no alcanza un nivel de seguridad del 100% (Estacio, 2019).

1.2. Planteamiento del problema

En Ecuador, se emplean normativas que posiblemente no capturen con precisión el comportamiento efectivo de los usuarios en relación con el consumo de agua potable. Esto podría dar lugar a diseños ineficientes que no satisfagan adecuadamente las necesidades de los consumidores. Por lo tanto, es crucial generar información actualizada para mejorar la eficacia de los sistemas (Carvajal & Pino, 2018).

En la ciudad del Puyo, la cobertura de agua potable presenta un déficit significativo con una eficiencia inferior al 90%, se requieren ampliaciones o la reposición de nuevos ramales en sus redes de distribución a corto plazo. Para determinar el caudal de diseño de una red de distribución, es necesario contar con el coeficiente de variación horaria (K_h) según lo estipulado en la normativa actual. Además, se recomienda realizar una investigación específica sobre este coeficiente en el poblado correspondiente. Cabe mencionar, que el municipio no cuenta con la información del consumo máximo horario, por lo cual esta investigación se llevará a cabo para mejorar la precisión de los diseños.

Para asegurar una gestión eficiente del suministro de agua potable, es fundamental contar con un entendimiento exhaustivo del consumo y llevar a cabo una planificación meticulosa respaldada por información precisa. Esto permite identificar patrones y hábitos de consumo para desarrollar sistemas de distribución de agua potable que satisfagan las necesidades de la población de manera sostenible (Llamuca & Vallejo, 2023).

1.3. Objetivos

1.4.1. General

- Examinar el consumo horario de agua potable de zonas residenciales de la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza.

1.4.2. Específicos

- Determinar zonas residenciales que cuenten con el sistema de abastecimiento de agua potable.
- Realizar mediciones del consumo horario de agua potable en medidores residenciales de la ciudad de el Puyo.
- Diseñar la curva de consumo horario de agua potable en la zona residencial de la ciudad de el Puyo y comparar el consumo horario en relación con los estratos socioeconómicos
- Calcular los coeficientes de variación del consumo de agua potable por hora con el fin de examinar los niveles máximos y mínimos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Caudales de diseño

La norma CPE INEN 5 (1992) menciona que, los caudales de diseño para redes de distribución serán: el caudal máximo diario más caudal contra incendios y se comprobarán las presiones de la red, para el caudal máximo horario al final de dicho período.

Para el diseño de las diferentes partes de un sistema de abastecimiento de agua potable, se usarán los caudales que constan en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable.

| ELEMENTO | CAUDAL |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Captación de aguas superficiales | Máximo diario + 20% |
| Captación de aguas subterráneas | Máximo diario + 5% |
| Conducción de aguas superficiales | Máximo diario + 10% |
| Conducción de aguas subterráneas | Máximo diario + 5% |
| Red de distribución | Máximo horario + incendio |
| Planta de tratamiento | Máximo diario + 10% |

Fuente: (CPE INEN 5, 1992).

2.2. Consumo de agua potable

Cada sistema de suministro de agua potable en localidades, municipios y áreas metropolitanas debería tener la capacidad de proporcionar a cada residente, una asignación de 100 litros por habitante por día, de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Con un suministro constante de 100 litros de agua de calidad durante las 24 horas, una persona podría satisfacer de manera óptima sus necesidades hídricas (Organización de las Naciones Unidas - Agua, 2021).

La estimación de la variación diaria y horaria de consumo de agua en una población se torna importante ya que, es un condicionante que influye directamente en la cantidad de agua que se debe suministrar tanto a la captación, reservorios y conducción para cubrir la demanda de agua. Además, el comportamiento de variación diaria y horaria en las poblaciones puede ir cambiando con el paso de los años producto de múltiples factores (Cáceres & Chambilla, 2019).

2.2. Factores que influyen en el consumo de agua potable

Según Arellano A. & Peña D. (2020), el uso de agua esta influenciado por características socioeconómicas, demográficas, climatológicas, de gestión y de calidad del agua potable.

Solamente las variables de “calidad del agua potable” y “demografía” inciden significativamente en el consumo semestral de agua potable. Las variables climatológicas (humedad atmosférica máxima y temperatura máxima) tienen más significancia estadística que las otras variables “socioeconómicas” y “gestión de agua potable” que intervienen en el consumo mensual de agua potable (Arellano A & Peña D, 2020).

Otro grupo similar de variables relacionadas al consumo de agua doméstico son: sociodemográficos, psicológicos, político-económicos, el modelo urbano y las condiciones climáticas y costumbres (Cáceres & Chambilla, 2019).

2.3. Curva característica de consumo diario

La representación gráfica del consumo diario refleja, la relación entre la cantidad de agua consumida por cada usuario y la hora del día en que se realiza dicho consumo. Esta curva resulta valiosa para calcular el caudal necesario que debe ser producido y suministrado a la red de distribución para satisfacer las necesidades de los usuarios.

La forma de esta curva es única para cada ciudad y está influida por diversos factores, como las condiciones climáticas, la temperatura, la hora del día, el estrato social, el tipo de vivienda y la población residente. La **Figura 5** ejemplifica el patrón de consumo diario de un usuario doméstico.

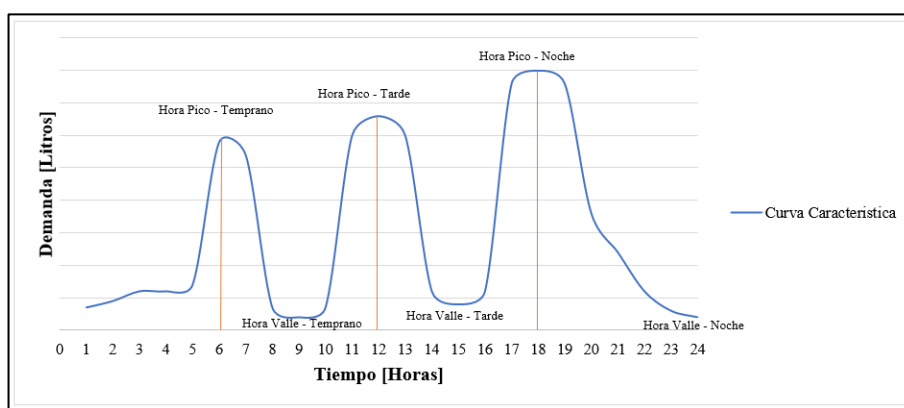


Figura 5. Curva característica de consumo diario.

Fuente. (Valverde J.,2023).

2.4. Estado del arte

La historia del suministro de agua potable en el mundo y en América Latina presenta particularidades derivadas de factores como la industrialización tardía, los intereses de las élites y los conflictos sociales que surgieron durante la implementación de políticas para el uso del agua. Esto se debe a la importancia crucial del agua en el desarrollo de la población, que la utiliza en diversas actividades como la agricultura, la industria, el comercio y el hogar, entre otras. El crecimiento de estas actividades, el desarrollo de las ciudades y las áreas rurales, así como el aumento de la población generan múltiples necesidades básicas que pueden resultar en conflictos sociales en las comunidades (Mballa & Hernandez-Espericueta, 2018)

El agua no solo es vital para el desarrollo de la población, sino que también desempeña un papel crucial en la preservación de los sistemas ecológicos, siendo indispensable para todos los sistemas de producción y condicionando diversos aspectos del desarrollo social. Esto ha llevado a que el agua se convierta cada vez más en el centro del interés comercial, siendo un punto de disputa y creciente tensión a nivel mundial Haga clic o pulse aquí para escribir texto.(Cáceres & Chambilla, 2019).

En el Perú, según el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) al 2018, un peruano consume en promedio un máximo de 163 litros de agua

por día, más de lo que indica la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 100 litros diarios. Este consumo se ve influenciado por factores socioeconómicos donde zonas con mayor presencia de restaurantes, centros comerciales, hoteles y viviendas residenciales consumen más agua que las zonas pobres (Cáceres & Chambilla, 2019).

En diversos cantones de Ecuador, se han emprendido investigaciones semejantes con el propósito de analizar los hábitos de consumo de la población y documentar cómo varía dicho consumo a lo largo del día. Como resultado de estos estudios, se obtiene una curva de consumo horario que se basa en factores como barrios, estratos sociales, zonas urbanas, y otros parámetros que inciden en el uso del agua.

En el cantón de Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, se realizó el análisis del consumo horario residencial de agua potable en 79 medidores. Se determinó que los momentos de mayor consumo de agua potable corresponden a las 6h00, al medio día a las 11h00 y en la noche a las 19h00, alcanzando un máximo de 134.25 l/h, 135.75 l/h y 151.21 l/h respectivamente (Llamuca & Vallejo, 2023).

Arias & Carrión (2023), en la provincia de Chimborazo ejecutaron el estudio en las lecturas de los micromedidores residenciales, se determinó un consumo promedio en la parroquia de San Andrés de 55.56 l/h y en la parroquia de San Isidro de Patulú de 33.46 l/h. Las curvas de variación de consumo horario muestran las horas pico, concluyendo que en San Andrés el máximo consumo es de 164.55 l/h a las 12h00 en el estrato C y en San Isidro de Patulú es de 168.85 l/h a las 11h00 en el estrato C.

En la ciudad de Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo, realizaron el estudio de consumo horario en 4 redes de distribución, obteniendo como resultados que el mayor coeficiente de modulación horaria en las redes Maldonado, Piscín y Saboya son valores de 2.99, 2.61 y 2.96 respectivamente, mientras que la red San Martín de Veranillo con un valor de 2.52 Haga clic o pulse aquí para escribir texto. (Alulema & Estrada, 2023).

Calderón & Tello (2022), realizaron el estudio en la provincia de Chimborazo donde en el cantón Colta las horas de mayor consumo son en la mañana a las 8h00 con $Q_{max} = 150 \text{ l/h}$, en la tarde a las 13h00 con $Q_{max} = 130 \text{ l/h}$ y en la noche a las 21h00 con $Q_{max} = 110.00 \text{ l/h}$, mientras que en Penipe las horas de mayor consumo son en la tarde de 13h00 a 15h00 con $Q_{max} = 85.25 \text{ l/h}$, en la noche a las 21h00 con $Q_{max} = 76.00 \text{ l/h}$ y en la mañana a las 8h00 con $Q_{max} = 68.00 \text{ l/h}$.

En la provincia de Tungurahua, se realizó las curvas horarias residenciales de demanda de agua potable, en el cantón Baños, donde las horas de mayor consumo son: en la mañana a las 6h00 con un $Q_{máx} = 80 \text{ lt/h}$, a medio día con un $Q_{máx} = 120 \text{ lt/h}$ y en la noche a las 19h00 con un $Q_{máx} = 100 \text{ lt/h}$, mientras que en el cantón Pelileo las horas de mayor consumo son: en la mañana a las 6h00 con un $Q_{máx} = 80 \text{ lt/h}$, desde las 12h00 a 13h00 con un $Q_{máx} = 100 \text{ lt/h}$ y en la noche a las 18h00 con un $Q_{máx} = 80 \text{ lt/h}$ (Macas & Rodas, 2023)

En el cantón Guamote perteneciente a la provincia de Chimborazo, se estudiaron a 105 medidores, se evidenció que los consumos máximos de agua potable en las tres redes se dan en la mañana a las 08h00 con un consumo de 108,25 l/h, al mediodía a las 12h00 con 150,40 l/h y en la noche a las 20h00 con 129,25 l/h (Moreno & Guamán, 2023).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo de la investigación se emplearán los niveles metodológicos: exploratorio, estadístico y analítico con el objetivo de analizar el comportamiento de consumo horario de agua potable residencial en las redes de distribución de la ciudad del Puyo.

Una investigación tipo exploratoria, implica realizar encuestas sobre el consumo de agua potable en las distintas redes de distribución que existen en la ciudad del Puyo, y registrar las mediciones de caudales durante las 24 horas del día, dentro un período de 7 días. Asimismo, se emplea el método estadístico y analítico para la tabulación de los datos recopilados, obteniendo los estratos socioeconómicos presentes dentro de la ciudad y las representaciones graficas de las curvas de consumo horaria de cada red de distribución.

3.2. Esquema metodológico

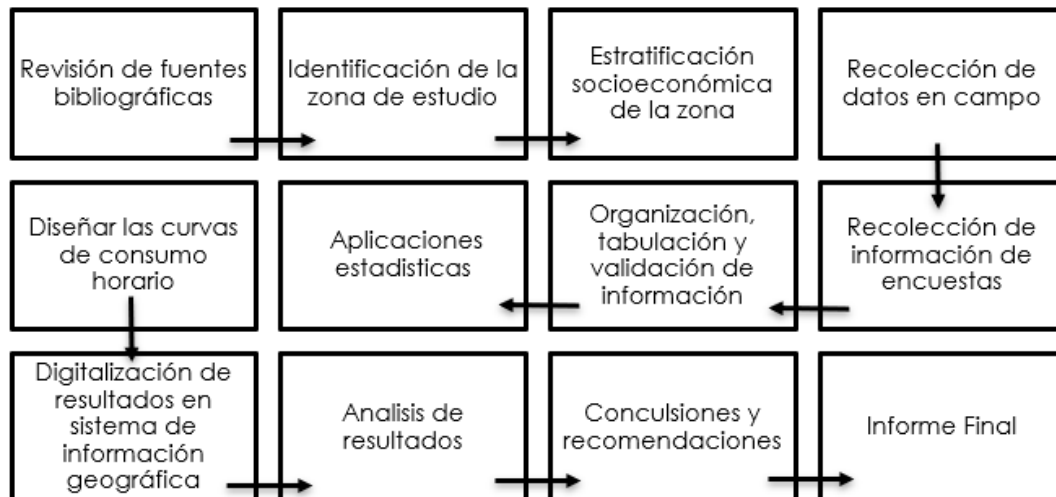


Figura 6. Esquema metodológico de la investigación.

Fuente. (Valverde J.,2023).

3.3. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se aplicó el método de caracterización urbanística y socioeconómica para poblaciones menores que 150,000 habitantes, de esta forma se logró identificar los niveles socioeconómicos de la localidad, según Arellano et al. (2012).

3.4. Población de estudio y tamaño de muestra.

3.4.1. Población

La investigación se llevó a cabo en las acometidas domiciliarias de la ciudad de Puyo. De acuerdo con la información proporcionada por EMAPAST - EP, se identificaron 6 redes de distribución de agua potable destinadas a satisfacer la demanda de la zona. La ciudad del Puyo cuenta con una población total de 33,659 habitantes según la proyección realizada para el año 2020. En la **Figura 7** se muestra la repartición de las redes de distribución con respecto a los barrios que comprende la ciudad del Puyo.

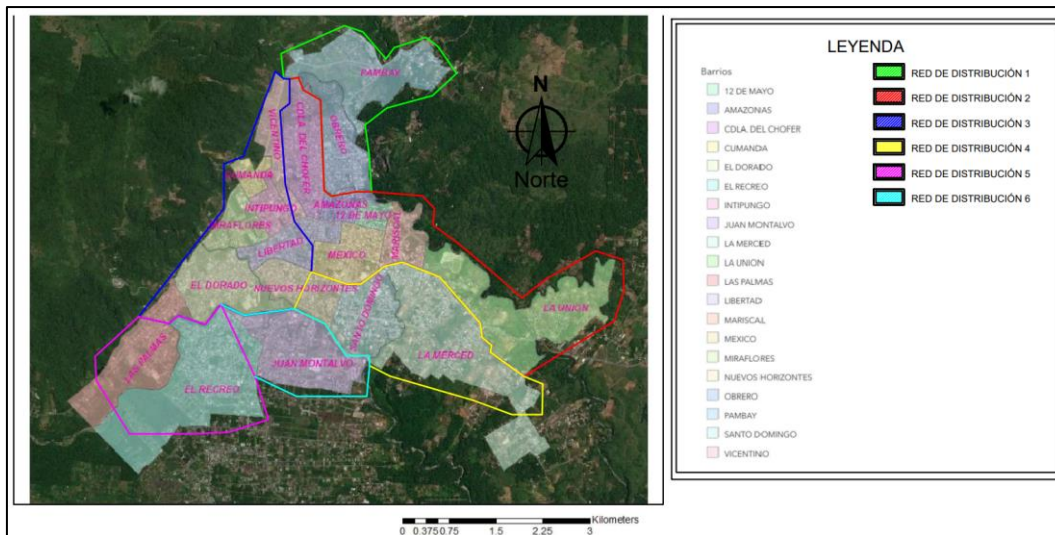


Figura 7. Redes de Distribución incluyendo barrios de la ciudad del Puyo.
Fuente. (Valverde J.,2023).

3.4.2. Muestra

En base al ‘Muestreo No Probabilístico’ la selección de los elementos no se basa en la probabilidad, sino en condiciones que facilitan el muestreo, tales como el acceso, la disponibilidad, la conveniencia, entre otros. Estos elementos son escogidos mediante mecanismos informales y no garantizan la representación completa de la población, según señalan Scharager & Reyes (2001).

Se escogió un total de 494 viviendas para la ciudad del Puyo. Se llevaron a cabo encuestas con el fin de analizar cómo la población utiliza el agua potable y purgar muestras bajo criterios específicos. Luego, se registraron lecturas de los medidores de agua potable seleccionados a lo largo de 24 horas durante 7 días de la semana.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística

Se examinaron las seis redes de distribución en la ciudad de Puyo, evaluando diversos parámetros como el número de edificaciones, tipo de vía, cantidad de pisos, estado de las fachadas y disponibilidad de servicios básicos en las propiedades.

Según el método de Arellano et al. (2012), se asigna un puntaje a los parámetros mencionados anteriormente para determinar el estrato socioeconómico de cada manzana. Esta asignación se realiza mediante la herramienta estadística Microsoft Excel.

En cuanto a la evaluación de las características urbanísticas, en las seis redes de distribución de agua de la ciudad, se seleccionaron manzanas de forma aleatoria. Posteriormente, se analizaron los cuatro lados de cada manzana y se sumaron los valores obtenidos para obtener un puntaje total.

En la **Tabla 5** se presentan los puntajes utilizados para llevar a cabo esta caracterización.

Tabla 5.

Categorización de una manzana

| RANGO | CATEGORÍA | ESTRATO SOCIO ECONÓMICO |
|------------|-----------|-------------------------------------|
| ≥ 300 | A | De ingresos altos |
| 299 – 200 | B | De ingresos mayores que el promedio |
| 199 – 100 | C | De ingresos menores que el promedio |
| ≤ 100 | D | De muy bajos ingresos |

Fuente: (Arellano et al., 2012).

Después de evaluar las manzanas, se llevaron a cabo encuestas socioeconómicas en hogares seleccionados al azar. Estas encuestas investigaron la economía de las familias residentes en la propiedad y se compararon con los puntajes de la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Categorización socioeconómica

| RANGO | CATEGORÍA | ESTRATO SOCIO ECONÓMICO |
|----------|-----------|-------------------------|
| 100 - 81 | A | Alto |
| 80 – 61 | B | Medio Alto |
| 60 – 31 | C | Medio Bajo |
| 30 - 0 | D | Bajo |

Fuente: (Arellano et al., 2012).

3.5.2. Procesamiento y análisis de datos para la aplicación de encuestas

Con el objetivo de agilizar la recopilación de información en el terreno, se emplea la aplicación del software KoBotoolbox. Los parámetros considerados para la identificación de las propiedades abarcan la ubicación, tipo de vivienda, tamaño del predio, cantidad de residentes, número de unidades sanitarias, tipo de almacenamiento y la calidad del agua.

Adicionalmente, se establecen los criterios para la selección de viviendas con conexión directa, así como los factores relacionados con la calidad del agua, calidad del servicio, número de unidades sanitarias y cantidad de residentes en cada vivienda.

3.5.3. Procesamiento y análisis de datos recolectados en campo

3.5.3.1. Delimitación de la muestra para la lectura de medidores

En la ciudad del Puyo, de las 494 viviendas encuestadas se descartaron 92 viviendas ya que contaban con tanques de agua elevados o cisternas, también con medidores en mal estado o fallas. Estas muestras son excluidas debido a que no representan con exactitud el consumo horario de agua potable y pueden distorsionar los resultados finales.

En el muestreo total se obtiene 402 medidores para la ciudad del Puyo. En la **Tabla 7** y en la **Figura 8** se puede visualizar la ubicación de los medidores dentro de la ciudad.

Tabla 7.

Número de medidores de acuerdo con la red de distribución

| Red de distribución | Cantidad de medidores |
|---------------------|-----------------------|
| 1 | 63 |
| 2 | 59 |
| 3 | 69 |
| 4 | 70 |
| 5 | 72 |
| 6 | 69 |
| Total | 402 |

Fuente. (Valverde J.,2023).

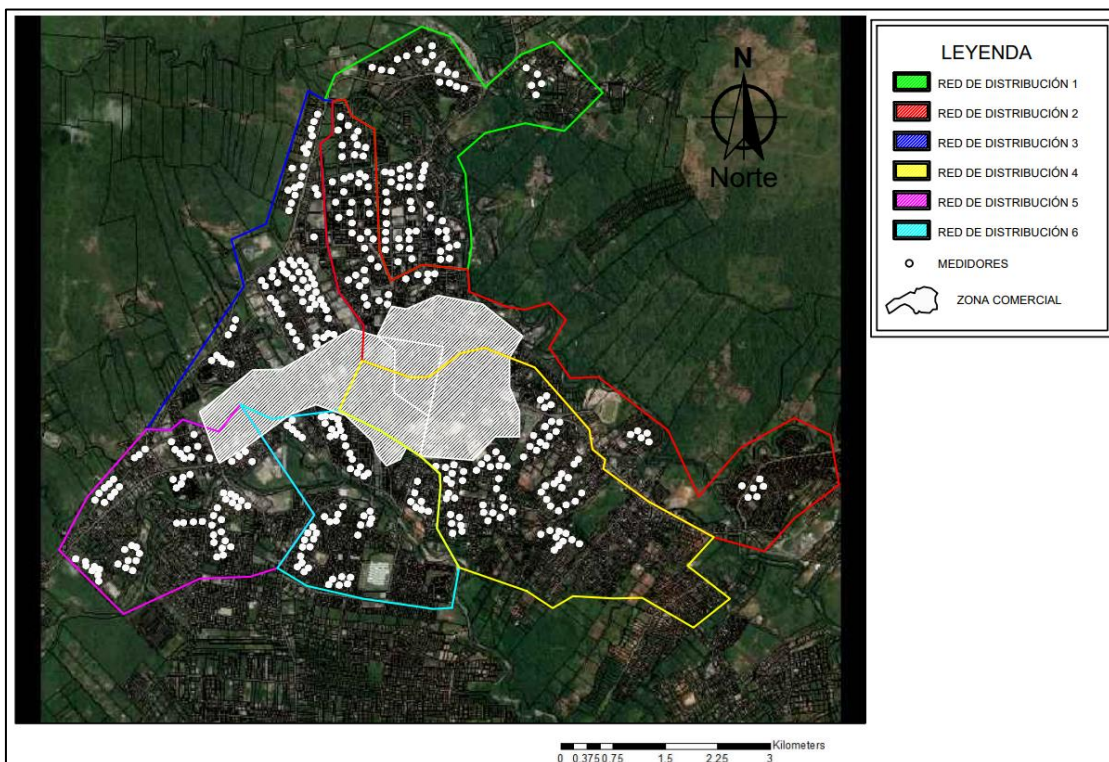


Figura 8. Distribución de la muestra en la ciudad del Puyo.

Fuente. (Valverde J.,2023).

3.5.3.2. Medición horaria de los volúmenes horarios de agua potable

Para registrar los volúmenes de agua potable por hora, se capturan lecturas de un total de 402 medidores a lo largo de los 7 días de la semana, durante las 24 horas del día. En la **Figura 9** se puede visualizar el diseño de la plantilla que se emplea para recopilar la información.

| ANÁLISIS DEL CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DEL PUYO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|--|--|---------|--|--|
| FICHA DE REGISTRO DE LECTURA HORARIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INTERVALO DE HORA | CODIGO MEDIDOR: | | ESTRATO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | UNIDAD: | | LUNES | | | | MARTES | | | | MIÉRCOLES | | | | JUEVES | | | | VIERNES | | | | SÁBADO | | | | DOMINGO | | |
| Horas | m ³ | Lt | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | consumo | | | | | | |
| | | | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | m ³ | Lt | | | | | |
| 24:00 - 01:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01:00 - 02:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02:00 - 03:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03:00 - 04:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04:00 - 05:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05:00 - 06:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06:00 - 07:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07:00 - 08:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08:00 - 09:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09:00 - 10:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10:00 - 11:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11:00 - 12:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12:00 - 13:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13:00 - 14:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14:00 - 15:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15:00 - 16:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16:00 - 17:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17:00 - 18:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18:00 - 19:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19:00 - 20:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20:00 - 21:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21:00 - 22:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22:00 - 23:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23:00 - 24:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

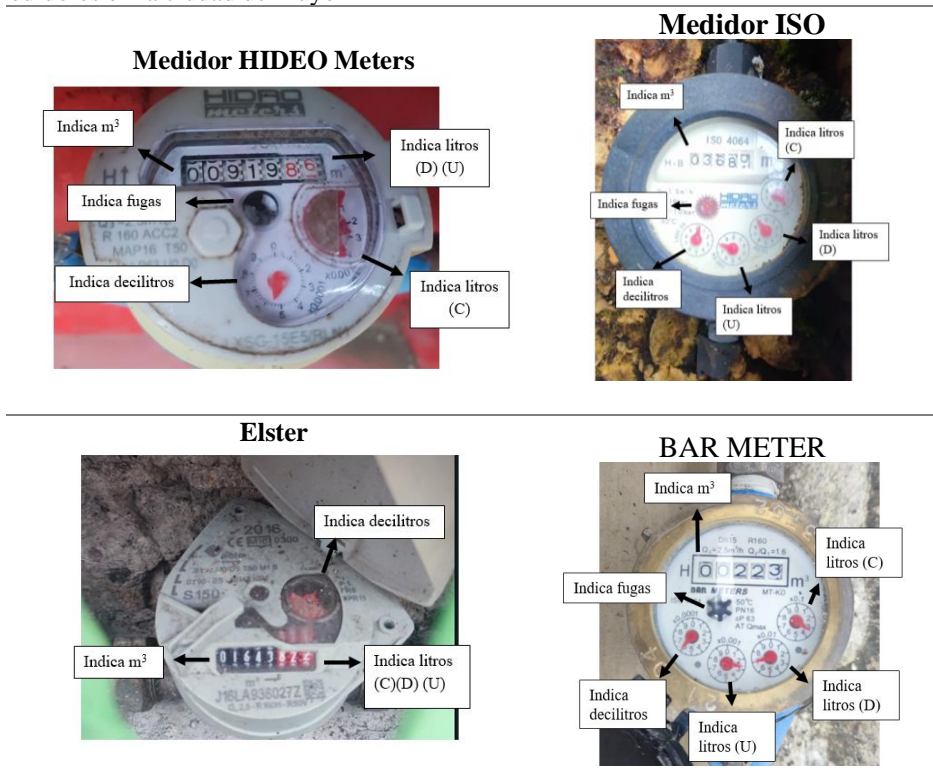
Figura 9. Plantilla de registro y consumo volumétrico de agua potable.
Fuente. (Valverde J.,2023).

3.5.4. Descripción del equipo de medición de caudales

Los medidores de la ciudad de Puyo registran los metros cúbicos y los litros en los últimos dígitos, ya sea 3 o 2, dependiendo del tipo de medidor. La lectura del medidor varía en algunas viviendas. En la **Tabla 8** se muestran algunos de los medidores que se observaron.

Para anotar el caudal de los medidores, se ingresan los datos en metros cúbicos y litros. Utilizando números en color negro para representar la lectura en metros cúbicos y números en color rojo para indicar la lectura en litros.

Tabla 8.
Tipos de medidores en la ciudad del Puyo



Fuente. (Valverde J.,2023).

3.6. Procesamiento y análisis estadístico

3.6.1. Tabulación de datos iniciales

Se lleva a cabo una lectura continua durante las 24 horas y los 7 días de la semana para cada una de las redes existentes en la ciudad del Puyo. Los datos recopilados se examinan minuciosamente con el objetivo de identificar los patrones de consumo horario en cada red y estrato.

Este análisis resulta fundamental para comprender el uso del agua en cada red y estrato, permitiendo tomar decisiones informadas en relación con la gestión del suministro de agua. Al tener conocimiento de los patrones de consumo horario, es posible identificar los momentos del día que demandan una mayor cantidad de agua.

Con la ayuda del software Minitab obtenemos las **Figura 10** y **Figura 11** donde nos muestran la dispersión de los datos obtenidos en campo.

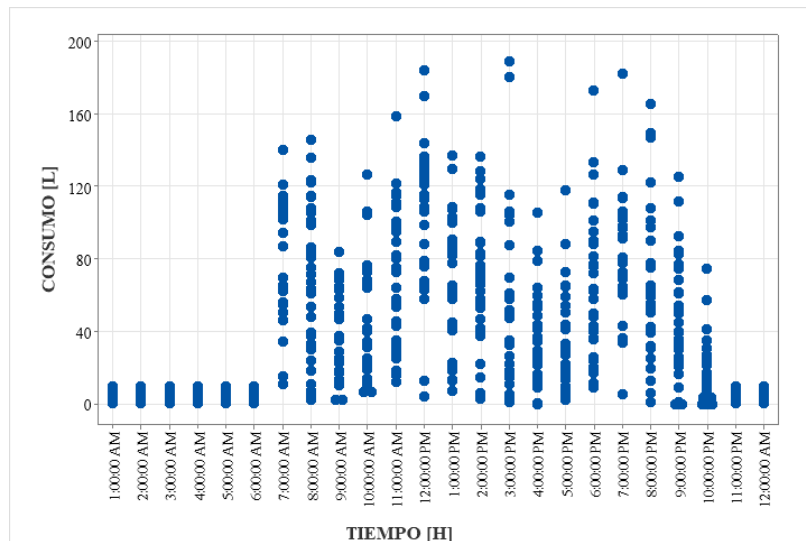


Figura 10. Diagrama de dispersión de la red de distribución 1 (La Constructora).
Fuente. (Valverde J.,2023).

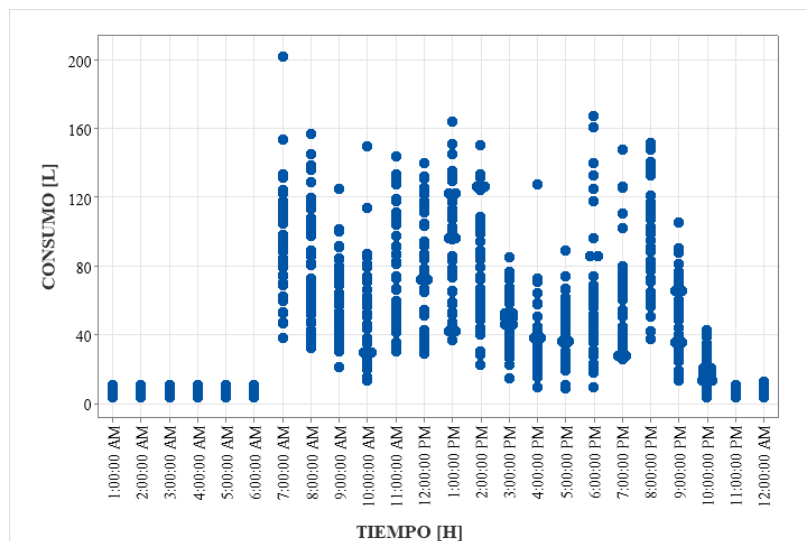


Figura 11. Diagrama de dispersión de la red de distribución 2 (La Isla).
Fuente. (Valverde J.,2023).

3.6.2. Validación de datos

Para la validación de los datos también se utiliza el software Minitab. En este programa, se generan diagramas de cajas y bigotes que incorporan todos los datos recopilados para cada red y estrato respectivo. El propósito es eliminar los datos que caen fuera del rango establecido, centrándose especialmente en aquellos que se sitúan en el cuartil Q3, como se muestra en las **Figura 12 y Figura 13**

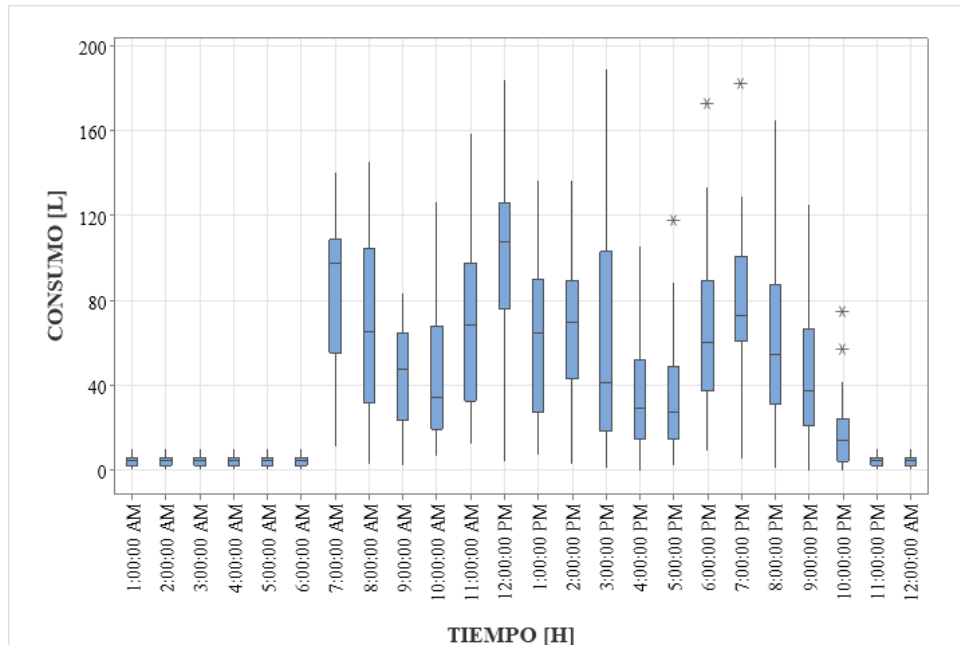


Figura 12. Diagrama de cajas y bigote de la red de distribución 1 (La Constructora).
Fuente. (Valverde J.,2023).

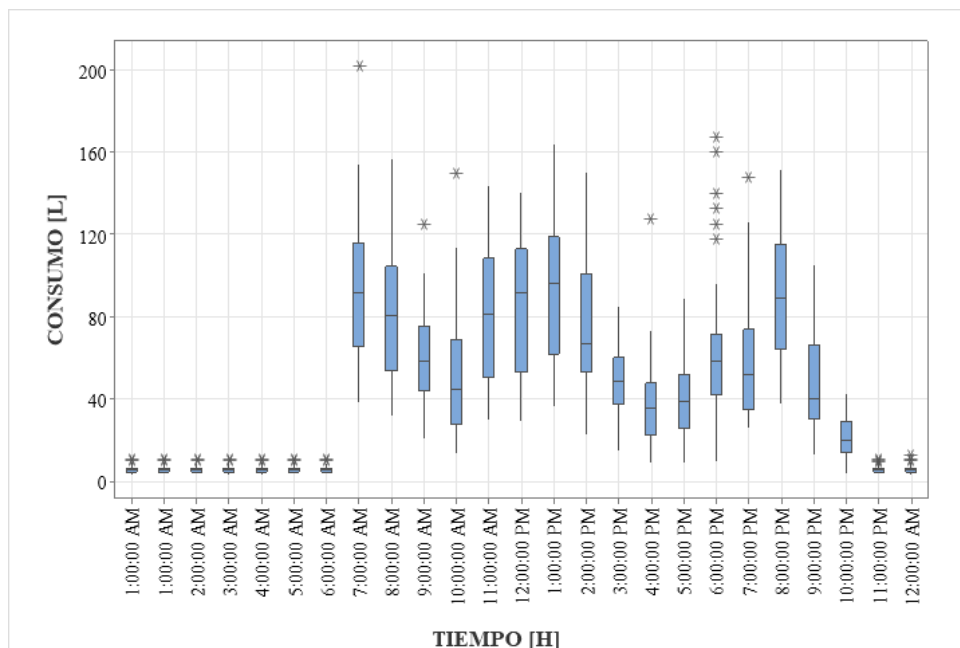


Figura 13. Diagrama de cajas y bigote de la red de distribución 2 (La Isla).
Fuente. (Valverde J.,2023).

3.6.3. Modelación de curva horaria

Se opta por el cuartil Q3 como el dato horario para la representación de las curvas horarias de cada red de distribución. Además, utilizando la ecuación (1), se calcula el caudal medio (Q_{medio}), que representa el promedio aritmético del consumo de agua potable en cada hora del día.

$$Q_{medio} = \frac{Q1 + Q2 + Q3 + \dots + Q24}{24} \quad (1)$$

Donde:

- Q_{medio} = Caudal medio
- $Q1, Q2, Q3, \dots, Q24$ = Consumo de agua en las horas del día

3.6.4. Caudal de fugas de fondo

El término Q_{fondo} refleja las posibles fugas y pérdidas durante las horas de la madrugada, momentos en los cuales no se registra ningún consumo según Estrada (2019). Su expresión se describe mediante la siguiente ecuación (2):

$$Q_{fondo} = 20\% * Q_{medio} \quad (2)$$

Donde:

- Q_{fondo} = caudal de fondo
- Q_{medio} = caudal medio

3.6.5. Coeficiente de modulación horaria

Al evaluar el rendimiento de las redes de distribución de agua potable, hay que tomar en cuenta el coeficiente de variación del consumo horario. Este coeficiente está vinculado al caudal medio y al caudal consumido en cada hora. De acuerdo con la norma CPE INEN 5 (1992), se establece que el coeficiente debe situarse en el rango de 2.00 a 2.30.

Se calcula el coeficiente de variación del consumo horario (K_h) para cada hora del día utilizando la ecuación (3):

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_{med}} \quad (3)$$

Dónde:

- K_h = Coeficiente de variación de consumo horario.
- Q_{med} = Caudal medio.
- Q_h = Caudal horario.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Factores que inciden en el consumo de agua potable

4.1.1. Estratificación socioeconómica

Los resultados de las 402 encuestas realizadas en la ciudad del Puyo se muestran en la **Figura 14** donde se ve la predominancia de los estratos B y C con un mayor porcentaje dentro de la ciudad. En la **Tabla 7** se detalla el número de encuestas para cada red de distribución.

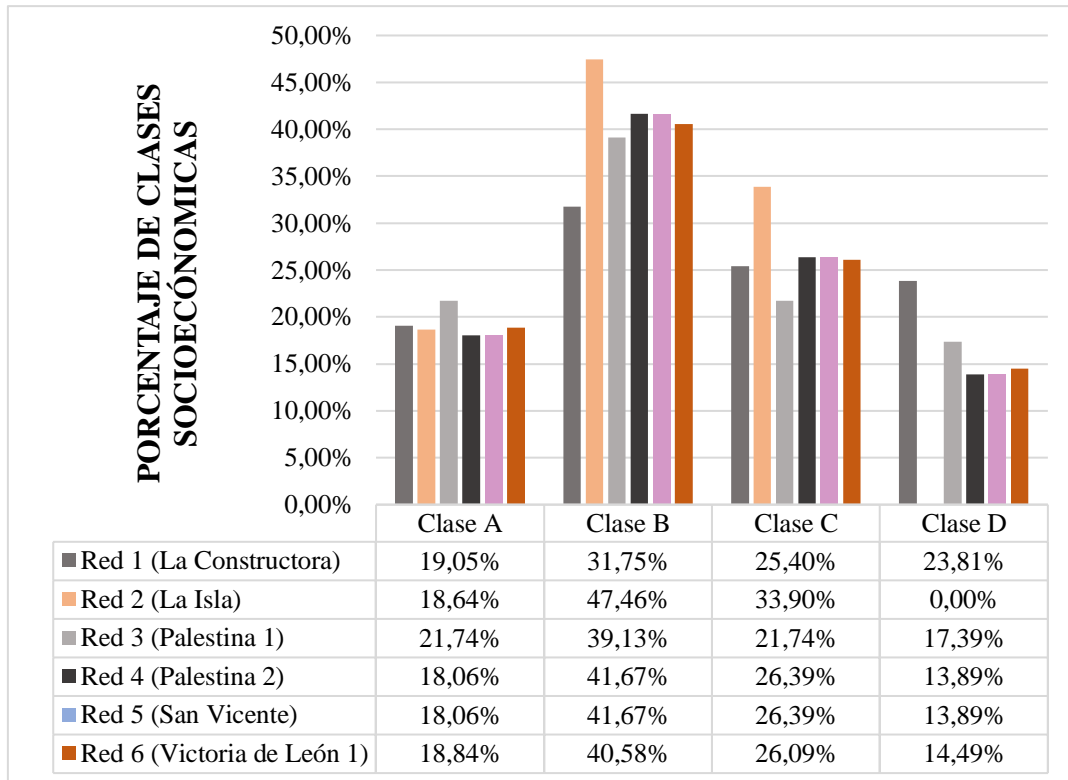


Figura 14. Tabulación de los estratos socioeconómicos.

Fuente. (Valverde J.,2023).

A continuación, en la **Tabla 9**, se presenta la segmentación de los estratos socioeconómicos para cada una de las redes de distribución.

Tabla 9.

Segmentación de viviendas según su estrato socioeconómico.

| Redes de distribución | Estratos | | | | Viviendas |
|-------------------------------|----------|----|----|--------------|------------|
| | A | B | C | D | |
| 1 (La Constructora) | 12 | 20 | 16 | 15 | 63 |
| 2 (La Isla) | 11 | 28 | 20 | 0 | 59 |
| 3 (Palestina 1) | 15 | 27 | 15 | 12 | 69 |
| 4 (Palestina 2) | 13 | 28 | 18 | 11 | 70 |
| 5 (San Vicente) | 13 | 30 | 19 | 10 | 72 |
| 6 (Victoria de León 1) | 13 | 28 | 18 | 10 | 69 |
| | | | | Total | 402 |

Fuente. (Valverde J.,2023).

La distribución de cada vivienda según la red de distribución se encuentra a continuación en la **Figura 15**.

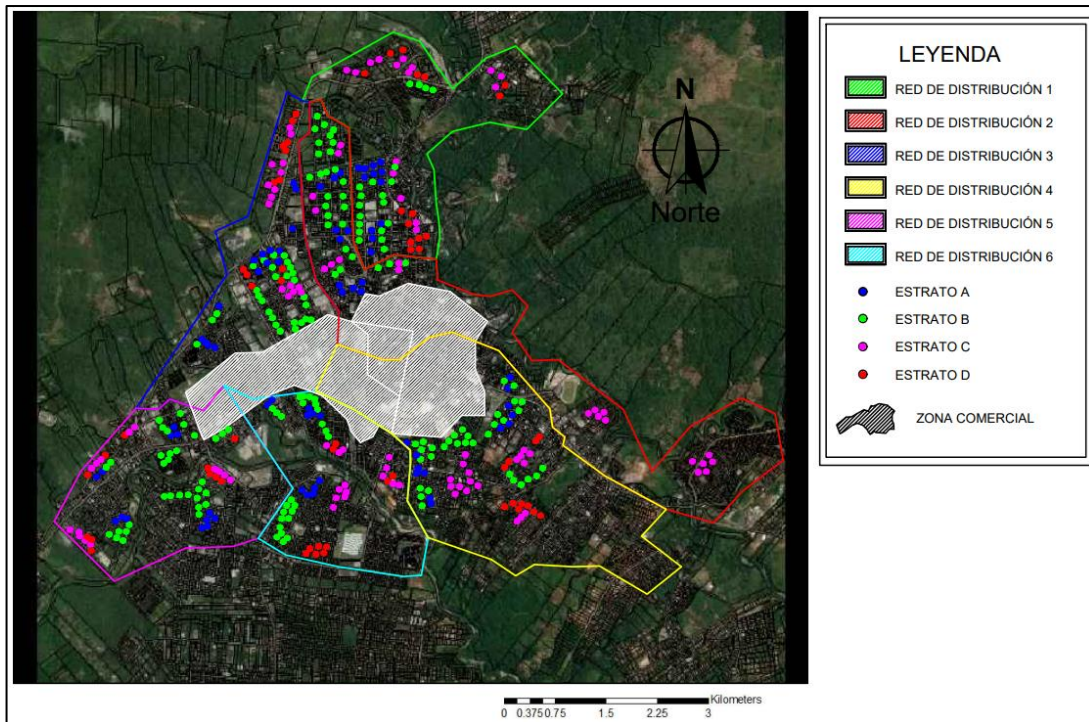


Figura 15. Ubicación de medidores con respecto a su estrato socioeconómico y red de distribución.
Fuente. (Valverde J.,2023).

4.1.2. Moradores por vivienda

Este factor posibilita la identificación de la demanda per cápita en distintos sectores, estableciendo así una conexión con la búsqueda de una distribución más justa de los recursos hídricos. En la siguiente imagen se muestran los promedios de habitantes que existen en cada red de distribución de la ciudad del Puyo **Figura 16**.

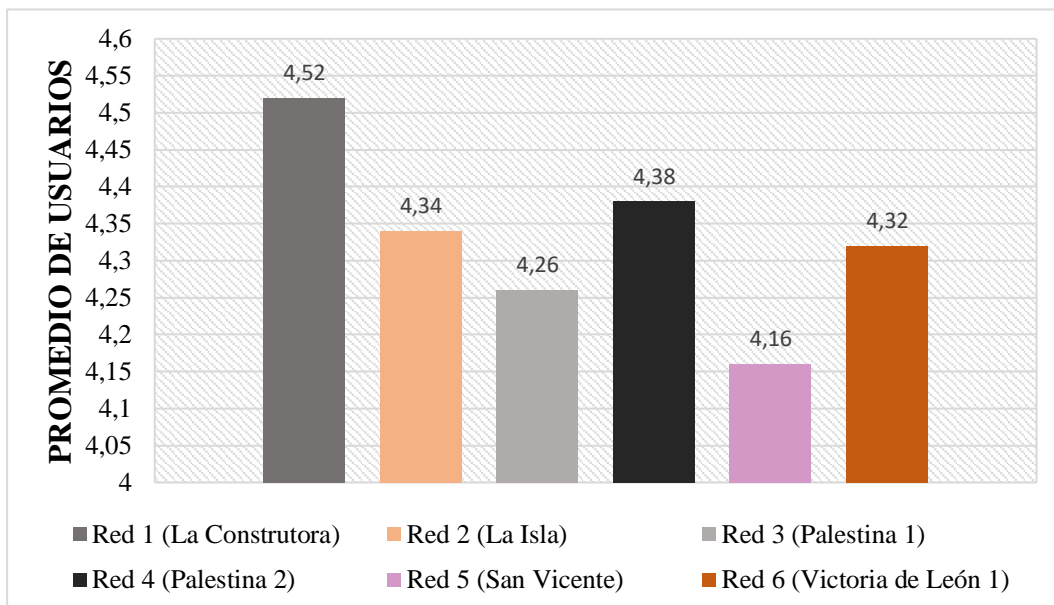


Figura 16. Promedio de moradores por vivienda.
Fuente. (Valverde J.,2023).

4.1.3. Mecanismos sanitarios

En lo que respecta a la cantidad de hogares encuestados, se registraron resultados homogéneos de mayor porcentaje en unidades sanitarias como ducha, lavamanos e inodoro. Sin embargo, en las demás unidades sanitarias se obtuvieron resultados significativamente menores, tal como se representa en la **Figura 17**.

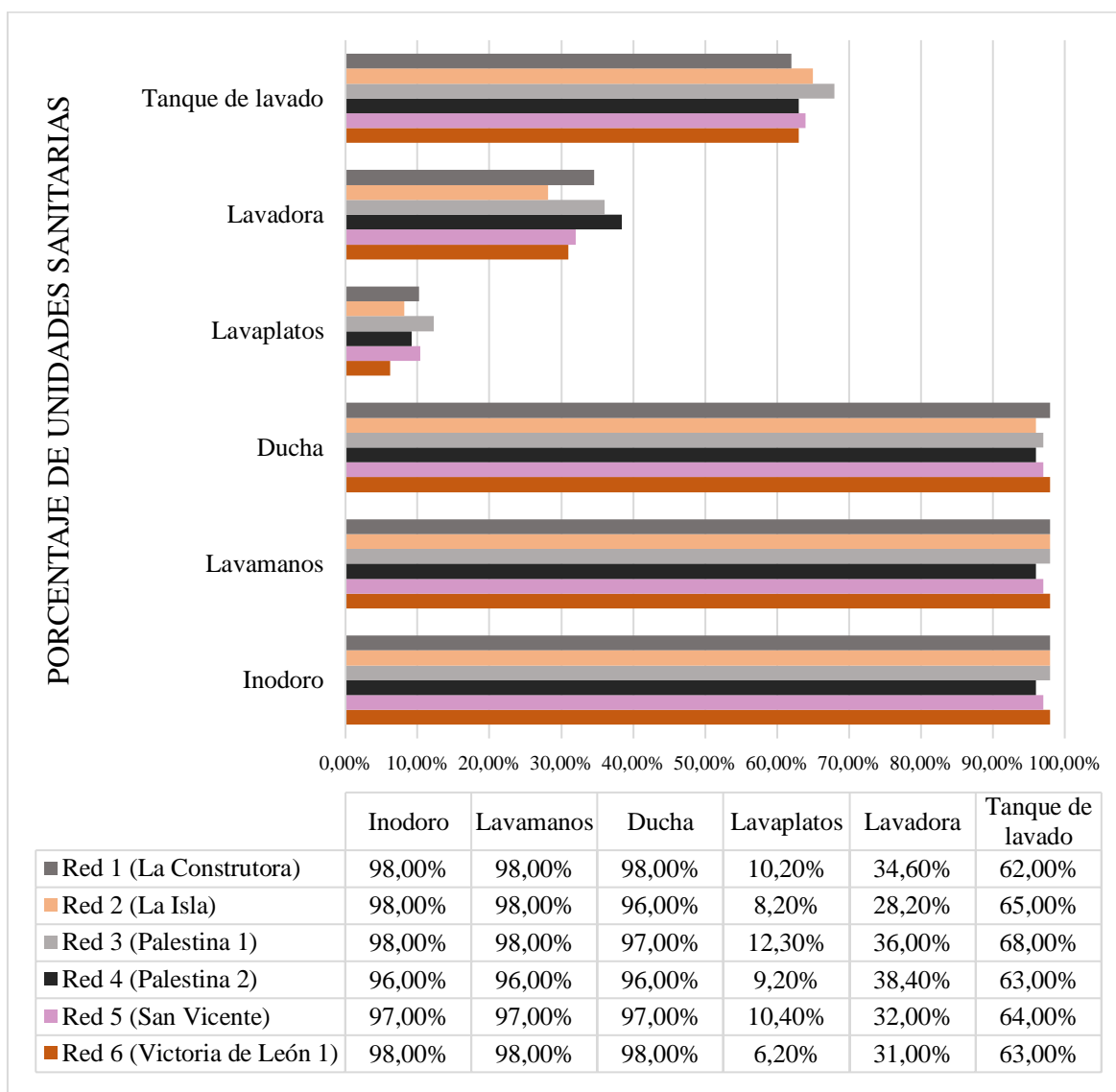


Figura 17. Porcentaje de unidades sanitarias.

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.1.4. Tipo de Almacenamiento

La **Figura 18** ilustra que el tanque para lavar ropa es la unidad de almacenamiento más predominante en la ciudad del Puyo. Las viviendas que no cuentan con estos tipos de almacenamiento son las que tienen mayores problemas, cuando el abastecimiento de agua tiene alguna complicación.

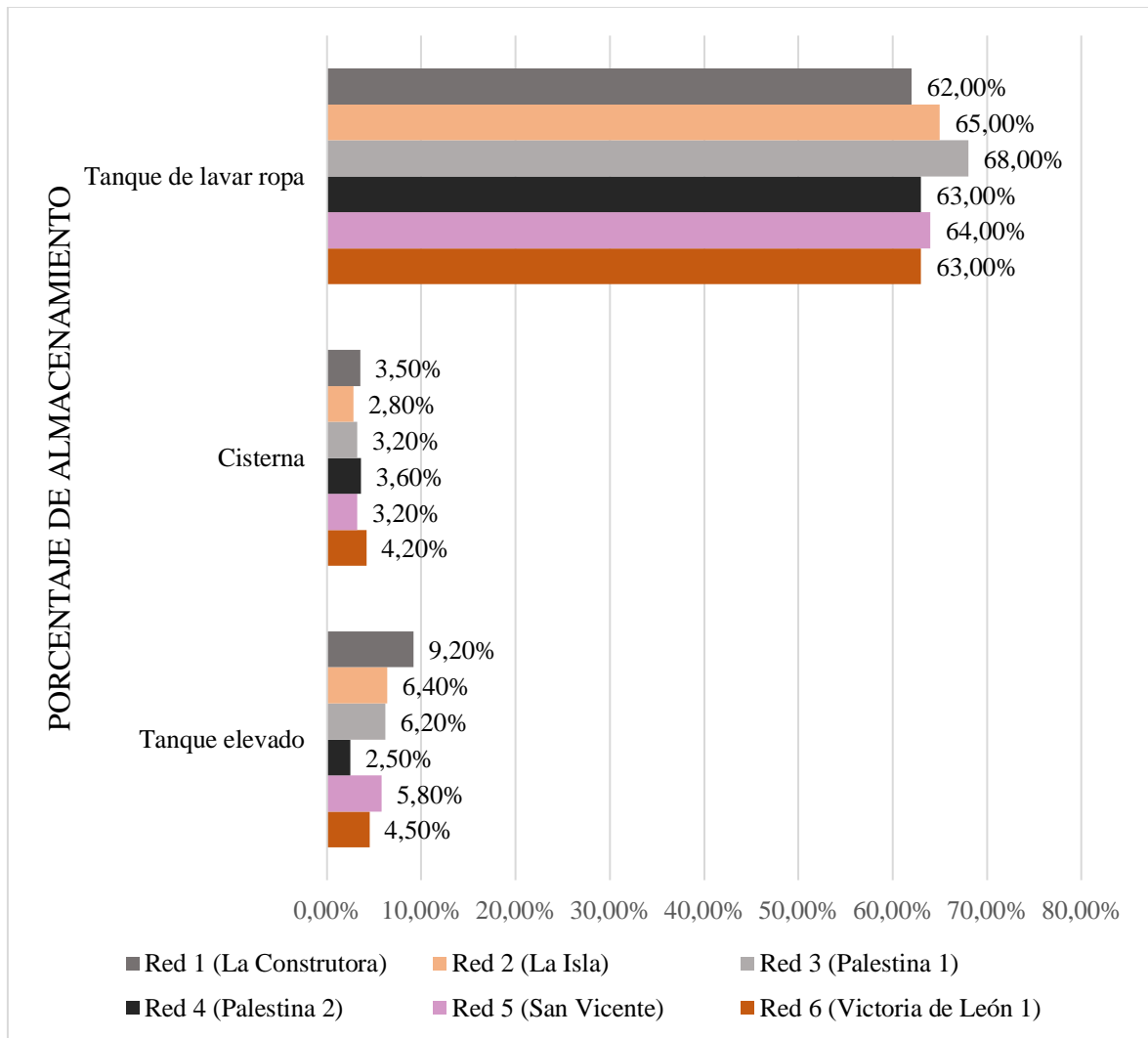


Figura 18. Porcentaje de tipo de almacenamiento.

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.1.5. Calidad del agua

Se reveló que el agua que reciben en las viviendas en su mayoría es de buena calidad, como se presentan de manera visual en la **Figura 19**.

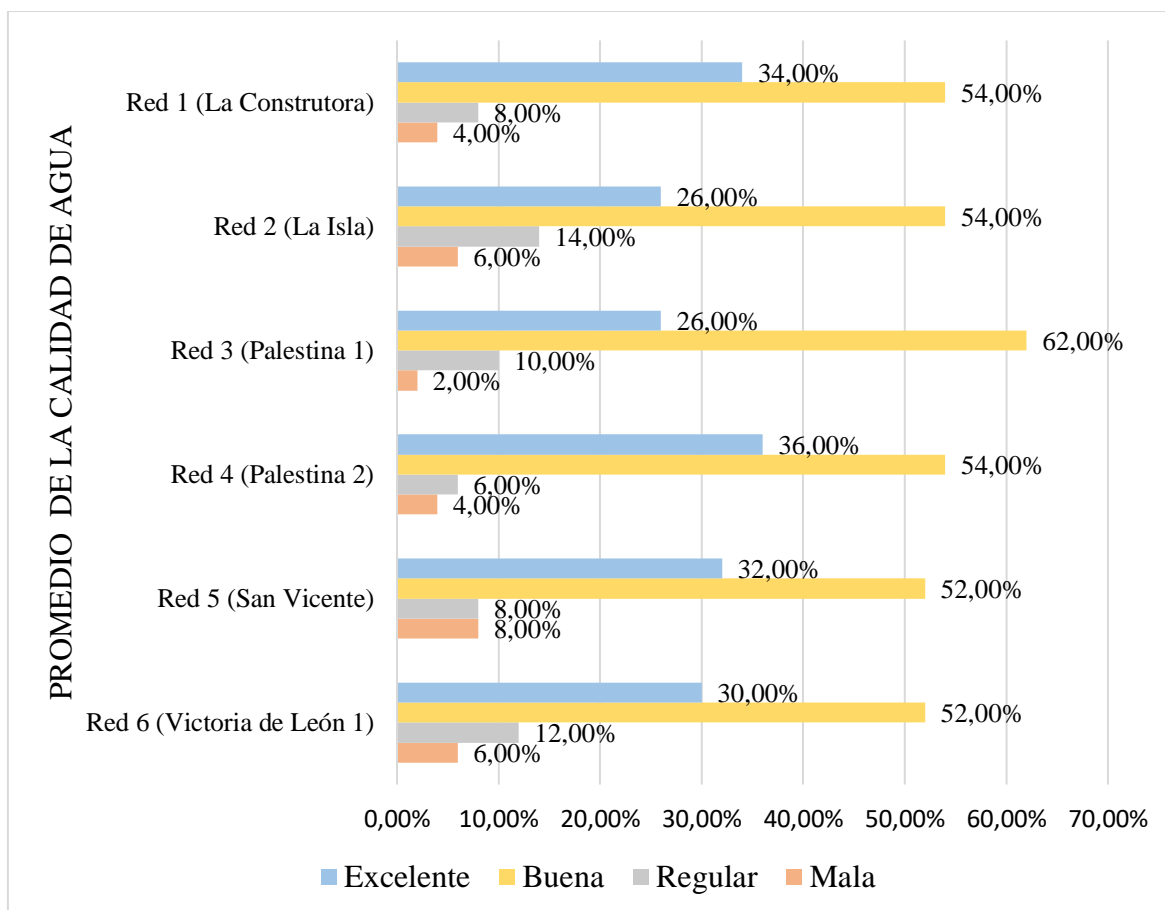


Figura 19. Promedio de calidad de agua.

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.2. Curvas de consumo horario residencial

4.2.1. Consumos horarios por redes de distribución

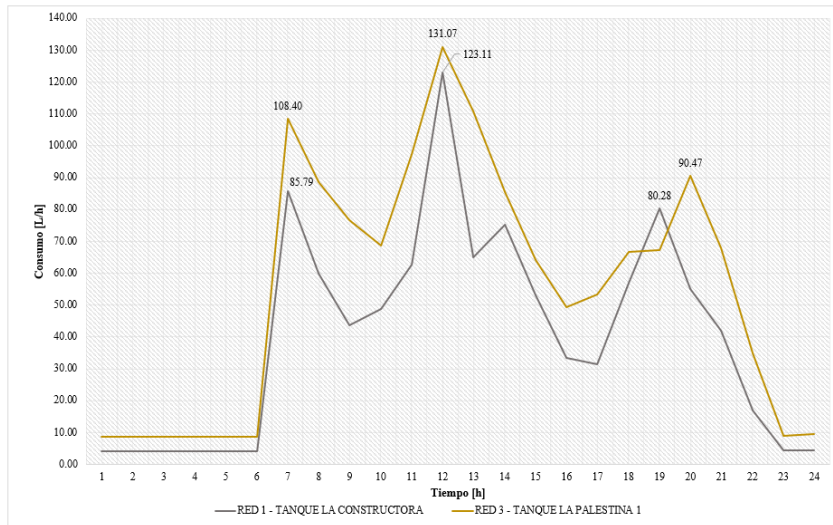
Para definir los consumos máximos en Puyo, se implementaron curvas de consumo, ver **Figura 20**. Obteniendo un mayor consumo de 134.44 l/h en la red de distribución número 6 que es abastecida por el tanque de almacenamiento Victoria de León 1, con un caudal medio de 66.96 l/h.

En el **apartado a**, se observa la red 1 (La Constructora) y la red 3 (Palestina 1), donde se evidencia que a las 12h00 se produce el pico de consumo horario. Esto sucede por qué a esa hora las personas suelen cocinar y llevar a cabo otras tareas domésticas que requieren el uso de agua potable, coincidiendo con los picos de consumo a las 07h00 y en la noche a las (19h00 o 20h00).

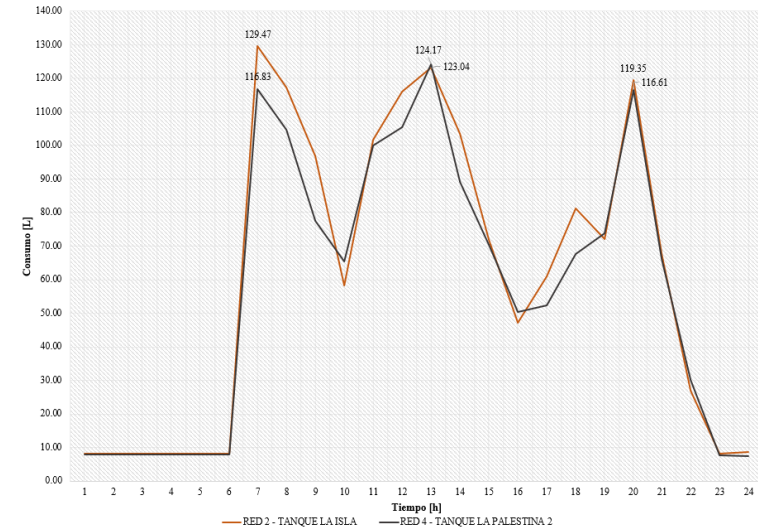
En el **apartado b**, se muestran la red 2 (La Isla) y la red 4 (Palestina 2), donde sus picos de consumo muy parecidos y de un valor considerablemente alto. En ambas redes los picos de consumo suceden a las mismas horas en la mañana, tarde y noche.

En el **apartado c**, se visualiza a la red 5 (San Vicente) y a la red 6 (Victoria de León 1), donde tiene un variación de consumo similar a las anteriores redes de distribución. Teniendo sus picos de consumo en la mañana a las 07h00, en la tarde a las (12h00 o 13h00) y en la noche a las (19h00 o 20h00).

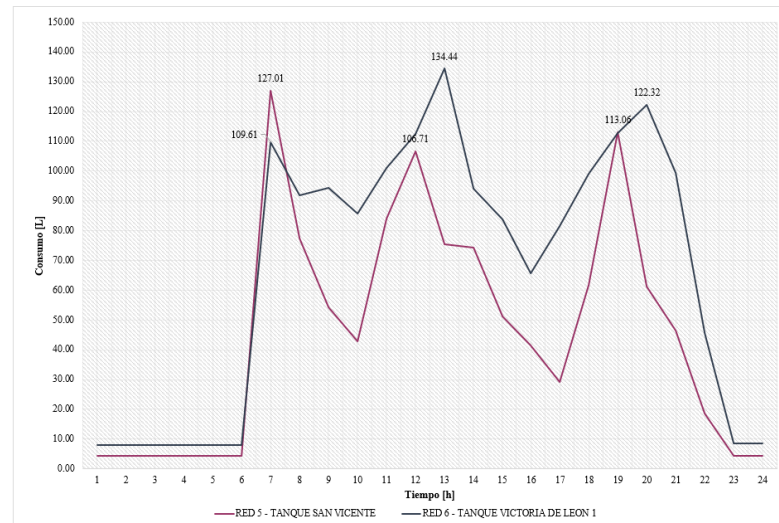
Figura 20. Curvas de variación de consumo horario de las redes de distribución.



a. Red 1 y Red 3.



b. Red 2 y Red 4.



c. Red 5 y Red 6.

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.2.2. Consumos horarios por estratos socioeconómicos

En la **Figura 21** se muestra la estratificación socioeconómica de cada red de distribución que abastece de agua potable a la ciudad del Puyo. Al analizar las gráficas, se evidencia que los estratos A y B presentan un consumo elevado en la mayoría de las redes. Por otro lado, el estrato C muestra un consumo ligeramente superior al estrato D, aunque no tan significativo.

Se evidencia la tendencia en la que los estratos con mayores recursos económicos presentan un mayor consumo de agua potable que los estratos con menores recursos económicos.

El estrato A en la Red 1 (La Constructora) tiene un mayor consumo de agua, mientras que en las demás redes de distribución el estrato con mayor consumo es el B. La disminución del consumo de agua del estrato A en las demás de redes de distribución puede deberse a que las actividades en las que se consume agua se realizan fuera de la residencia.

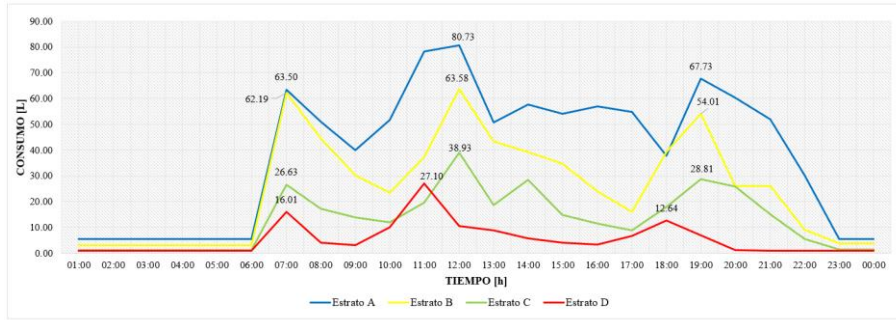
La Red 2 (La Isla) cuenta únicamente con 3 estratos socioeconómicos (A, B y C), debido a que los barrios que comprenden esta red son cercanos a sectores comerciales y reflejan un mayor nivel económico.

En todas las redes de distribución se puede evidenciar picos de consumo en la mañana a las 07h00, en la tarde entre 12h00-13h00 y en la noche entra las 19h00-20h00, esto debido a las actividades domesticas habituales que realiza cada estrato, tales como el uso de duchas, preparación de alimentos, limpieza del hogar, etc.

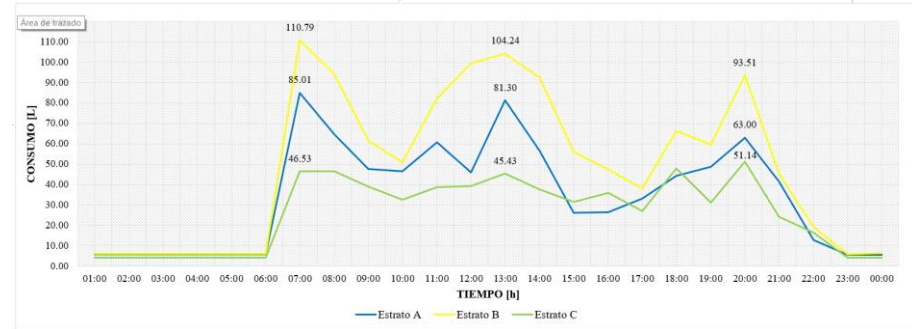
La Red 4 (Palestina 2) presenta irregularidades en los picos de consumo con respecto a las demás redes, esto puede deberse a la deficiencia en la red de distribución, intermitencia de la entrega de agua debido al caudal, entre otros.

El pico más elevado de consumo de agua potable de la ciudad del Puyo se encuentra en la Red 3 (Palestina 1) a las 12h00, con un valor de 119.49 l/h. Por otro lado, el pico de consumo más bajo está en la Red 1 (La Constructora) a las 18h00, con un valor de 12.64 l/h.

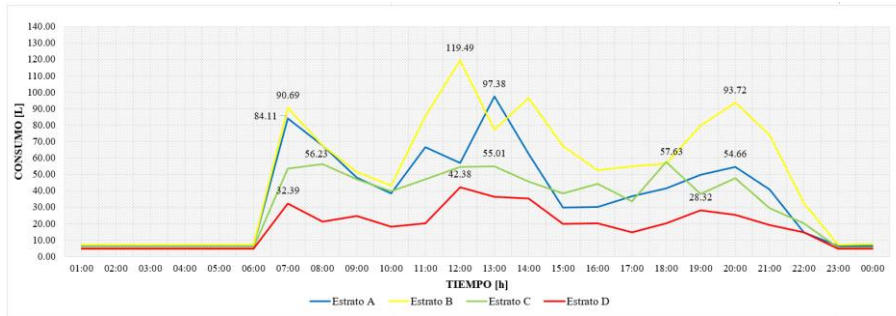
Figura 21. Curvas del consumo horario residencial.



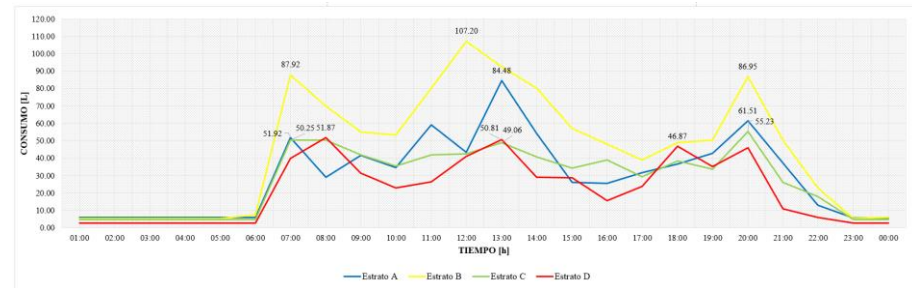
d. Red 1 (La Constructora).



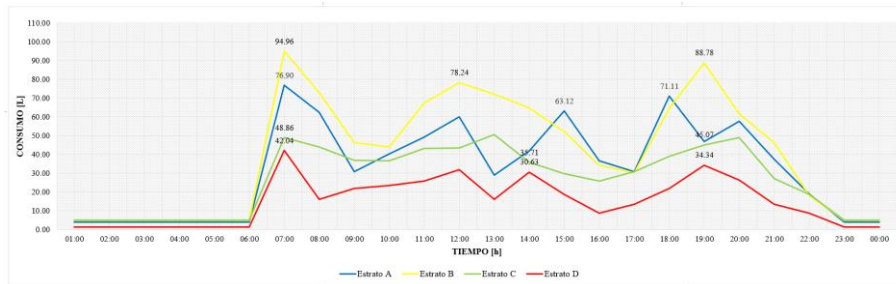
e. Red 2 (La Isla).



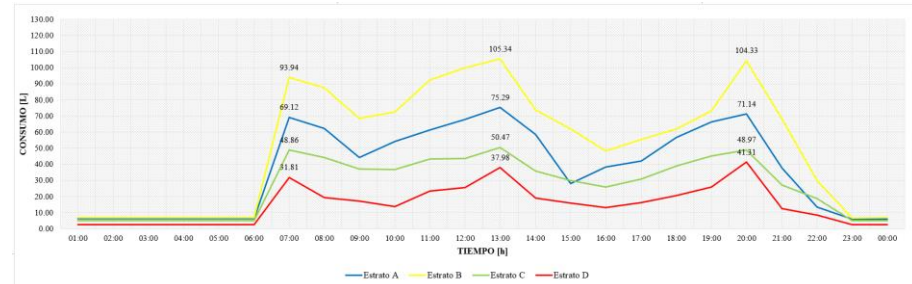
f. Red 3 (Palestina 1).



g. Red 4 (Palestina 2).



h. Red 5 (San Vicente).



i. Red 6 (Victoria de León 1).

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.2.3. Coeficiente de modulación horaria

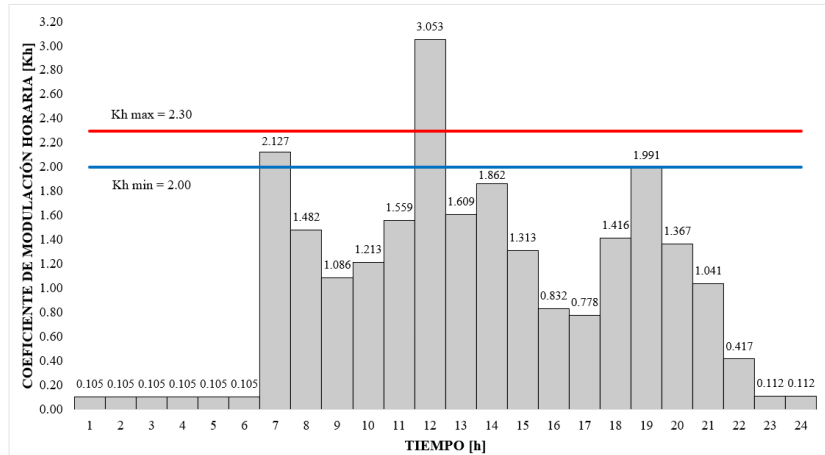
Para realizar una evaluación precisa de las fluctuaciones en las curvas de consumo en la zona residencial, resulta fundamental contrastar los valores de K_h con la norma CPE INEN 5 (1992), que prescribe un rango de 2.00 a 2.30. Esta comparación se efectúa en todas las redes de distribución de la ciudad del Puyo, como se muestra en la **Figura 22**.

De esta manera, en la red de distribución 1 (La Constructora), 3 (Palestina 1) y 5 (San Vicente), los coeficientes de modulación horaria (k_h) en el pico de consumo más alto, sobrepasa el límite de 2.30 establecido por la Norma CPE INEN 5 (1992), lo que indica que los sistemas de abastecimiento deben rediseñarse teniendo en cuenta dichos valores.

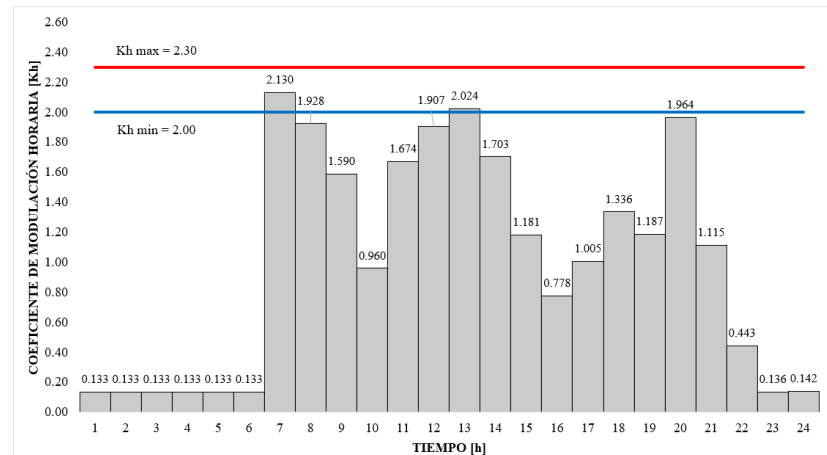
Por otro lado, los coeficientes de modulación horaria (k_h), en sus picos de consumo más elevados de la Red 2 (La Isla), 4 (Palestina 2) y 6 (Victoria de León 1), se encuentran entre el rango recomendado por la Norma CPE INEN 5 (1992), esto demuestra que el sistema de abastecimiento de agua potable no está sub dimensionado.

Los coeficientes de modulación horaria alcanzan su punto máximo a las 07:00 y las 12:00 horas, con valores de 3.053 y 2.795 respectivamente. Según la normativa INEN CPE 5 (1992), el valor recomendado de 2.30 resulta insuficiente para estas horas del día.

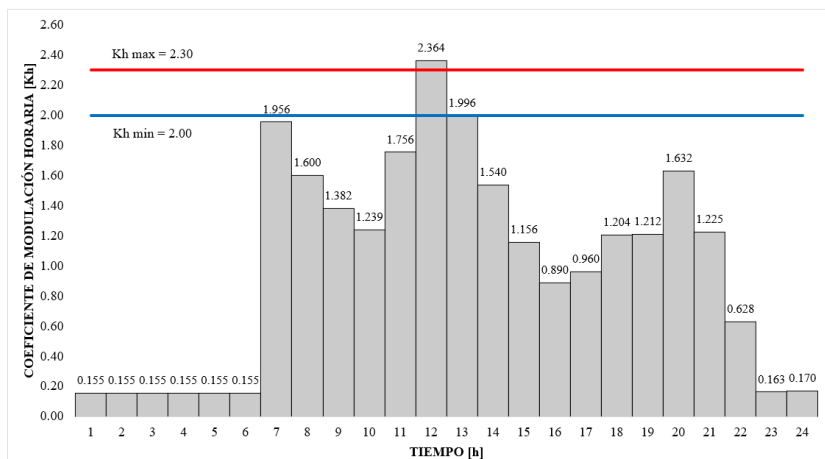
Figura 22. Comparación de coeficientes máximos de variación de consumo horario de las redes de distribución vs el valor de la norma (CPE INEN 5, 1992).



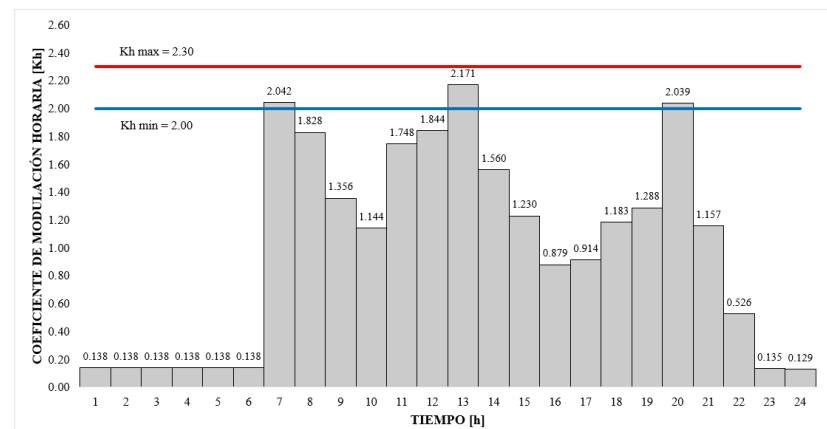
a. Red 1 (La Constructora)



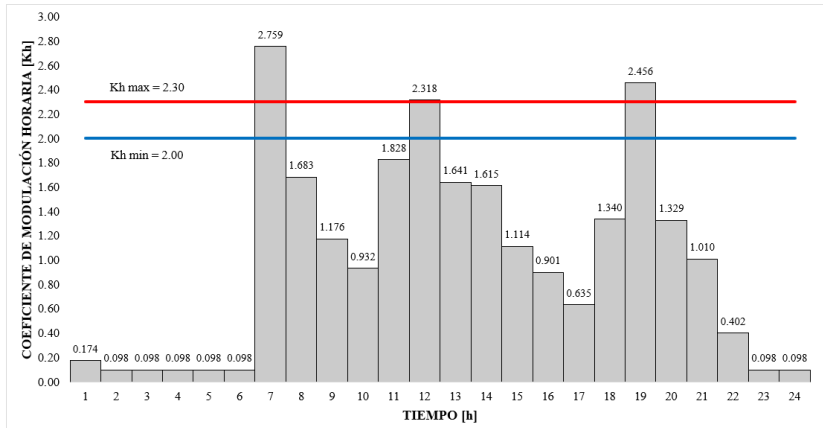
b. Red 2 (La Isla)



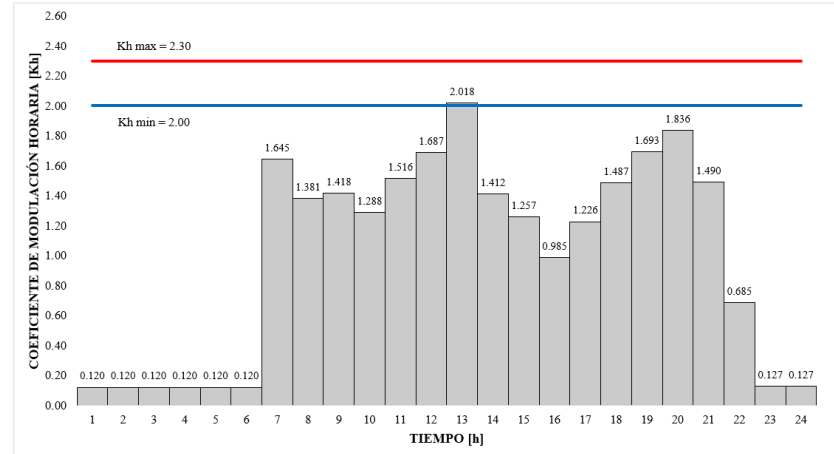
c. Red 3 (Palestina 1)



d. Red 4 (Palestina 2)



e. Red 5 (San Vicente)



f. Red 6 (Victoria de León 1)

Fuente. (Valverde J.,2023).

4.3. Discusión

En la investigación “Análisis del consumo horario residencial de agua potable del cantón Guano” realizada por Llamuca & Vallejo (2023) determinaron que los momentos de mayor consumo son a las 6h00, 11h00 y 19h00, alcanzando un máximo de 134.25 l/h, 135.75 l/h y 151.21 l/h respectivamente. En la Ciudad del Puyo se obtiene que las horas pico son en la mañana a las 07h00 en todas las redes, en la tarde y noche varían las horas de mayor consumo dependiendo el sector, siendo estas entre las 12h00 y 13h00 en la tarde y 19h00 y 20h00 en la noche.

Arias & Carrión (2023), en la provincia de Chimborazo determinaron el consumo de agua potable en las parroquias de San Andrés y San Isidro de Patulú, consiguiendo las horas de mayor consumo de cada estrato socioeconómico siendo estas en el estrato C a las 12h00 con 164.55 l/h en San Andrés y así mismo en San Isidro de Patulú el estrato C a las 11h00 con 168.55 l/h. Mientras que, en la ciudad del Puyo se determinó que la hora de mayor consumo es en el estrato B de la red de distribución 3 (Palestina 1) a las 12h00 con 119.49 l/h. La diferencia de mayor consumo por estrato socioeconómico se puede deber al desarrollo del sector ya que Puyo al ser una ciudad en constante crecimiento existe una mayor calidad de vida.

En la ciudad de Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo Alulema & Estrada (2023), realizaron el estudio en 4 redes de distribución de la ciudad, la cantidad promedio de usuarios es de 4.45 hab/casa mientras que en la ciudad del Puyo se determinó un 4.52 hab/casa siendo está un poco mayor. A través de esta identificación, es posible establecer la relación entre el consumo y el número de instalaciones sanitarias. Se debe tener en cuenta que a medida que aumenta el número de usuarios, el consumo tiende a regularizarse, mientras que un mayor número de instalaciones sanitarias conlleva un incremento en el desperdicio de agua potable.

Calderón & Tello (2022), en la provincia de Chimborazo realizaron el estudio de comportamiento de consumo horario residencial de agua potable en los cantones de Colta y Penipe. En Colta, el estrato de ingresos por debajo del promedio C predomina, representando el 54.84%, mientras que en Penipe, el estrato de ingresos por encima del promedio B alcanza el 54.55%. En la ciudad del Puyo también prevalecen los estratos B y C donde el mayor porcentaje se encuentra en la red de distribución 2 (La Isla) con porcentajes de 47% y 33% respectivamente. Estos porcentajes están vinculados al nivel económico y al tipo de vivienda en relación con los patrones de consumo de agua potable.

En la investigación realizada en la provincia de Chimborazo por Moreno & Guamán (2023), determinaron que solo existen los estratos socioeconómicos B, C y D con porcentajes del 44%, 58% y 48% respectivamente en el cantón de Guamote. Por lo contrario, la ciudad del Puyo cuenta con los cuatro estratos socioeconómicos A, B, C y D en la mayoría de sus redes, siendo la única diferente la red de distribución 2 (La Isla) con 3 estratos que son A, B y C.

Los valores máximos de los coeficientes de modulación horaria obtenidos en Baños ($Kh \text{ máx} = 2.72$) y en Pelileo ($Kh \text{ máx} = 2.83$) señalan que los diseños de los sistemas de abastecimiento exceden los rangos estipulados por la normativa, que oscilan entre 2.00 y 2.30 (Macas & Rodas, 2023). Mientras que en la Ciudad de Puyo los valores de $Kh \text{ máx}$ son 3.053, 2.13, 2.364, 2.171, 2.759 y 2.047 pertenecientes a la Red 1, 2, 3, 4, 5 y 6

respectivamente. Se puede notar que la mayoría de los valores exceden el rango específico, más no los valores de la red de distribución 2 y 4 que si se encuentran dentro del rango.

Como se puede ver en la **Figura 23** se realizó la comparación de los coeficientes máximos de variación de consumo de cada red de distribución con los valores establecidos con la norma CPE INEN 5 (1992) y de todas las redes solo 3 se encuentran fuera del rango señalado (2.00 a 2.30).

Los coeficientes establecidos por la normativa vigente no resultan óptimos para el diseño de los sistemas de abastecimiento de estas 3 redes. Por lo tanto, se sugiere emplear los coeficientes obtenidos en esta investigación como alternativa recomendada para no sobredimensionar ni sub dimensionar las redes de distribución.

Al abordar el diseño del sistema de suministro de agua potable, es esencial tener en cuenta el valor máximo obtenido, que en este caso es $K_h \text{ max} = 3.053$, asociado a la red de distribución 1 (La Constructora).

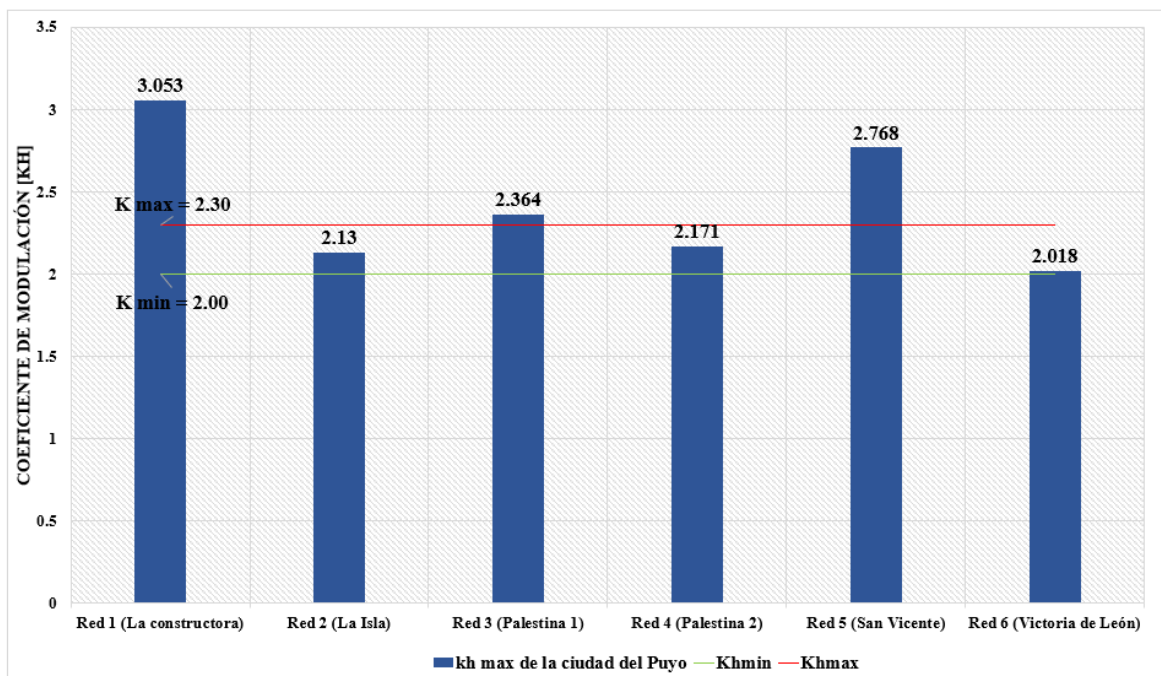


Figura 23. Comparación de coeficientes máximos [Kh] de cada red de distribución de la ciudad del Puyo.
Fuente. (Valverde J.,2023).

Adicionalmente, en la **Figura 24** se contrastan los coeficientes máximos de variación en distintas regiones de Ecuador, notando que en todas ellas se supera el límite establecido por la normativa.

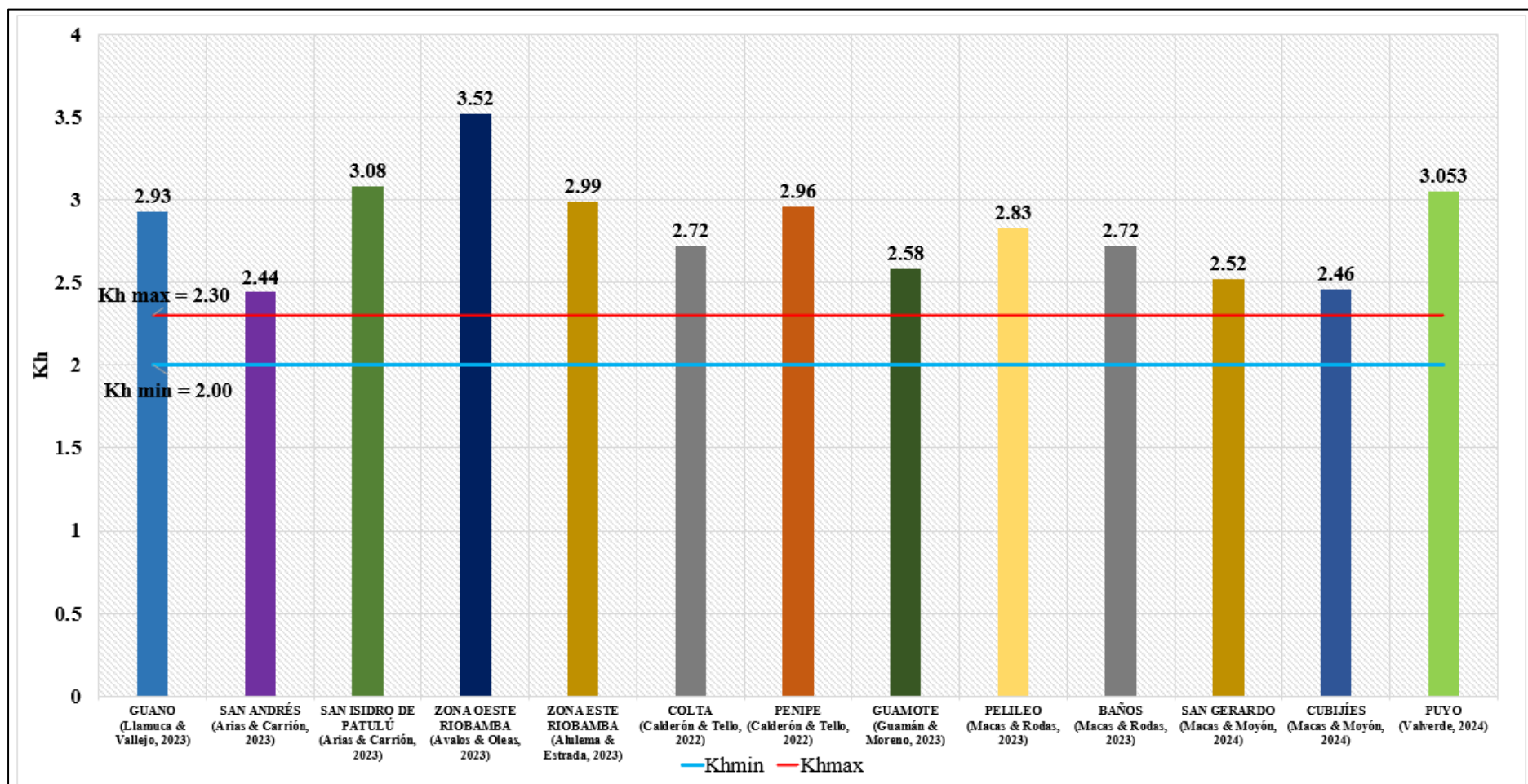


Figura 24. Comparativa de los valores máximos de Kh en diversas zonas del Ecuador.

Fuente. (Valverde J.,2023).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se analizó el comportamiento del consumo horario residencial de agua potable en la ciudad del Puyo permitiendo constatar que la mayor parte de los encuestados cuentan con el servicio de agua potable de buena calidad y no tienen problemas con la disponibilidad del servicio. Existe un número pequeño de viviendas que disponen de algunos tipos de almacenamiento (cisternas o tanques de almacenamiento) evitando cualquier tipo de inconveniente con el abastecimiento de agua potable.

Se realizó un total de 402 encuestas dentro de toda la ciudad obteniendo como resultado la existencia de 4 habitantes/vivienda promedio, esto guarda relación con el consumo de agua potable, ya que un aumento en el número de instalaciones sanitarias y usuarios, derivado de un mayor número de plantas, resultaría en un incremento del consumo en la propiedad.

La ciudad del Puyo cuenta con 6 redes de distribución nombradas por los tanques de almacenamiento que las alimentan, se examinó y detecto que todas las redes cuentan con los cuatro estratos socioeconómicos (A, B, C y D) con excepción de la red 2 que solamente cuenta con los estratos A, B, y C. El estrato predominante en todas las redes de distribución es el estrato B ya que cuenta con un porcentaje de entre el 30 % y 50% de mayor ingreso promedio.

Se llevaron a cabo las curvas de variación de consumo horario de la demanda de agua potable, mostrando que el consumo máximo ocurre durante las horas pico, ya que los usuarios realizan actividades cotidianas en sus hogares en ese periodo de tiempo. A través de este estudio, se determinó que en la ciudad del Puyo las horas de mayor consumo es en la mañana a las 07h00, en la tarde puede variar dependiendo la red entre las 12h00 o 13h00, mientras que en la noche también cambia según la red de distribución entre las 19h00 o 20h00. El caudal máximo se encuentra en la red de distribución 6 (Victoria de León 1) con un $Q_{max}=134.44$ l/h exactamente a la 13h00 pm.

Los máximos coeficientes de modulación horaria obtenidos en la ciudad del Puyo muestran que en las redes 2, 4 y 6 con un $kh_{máx}=2.130$, un $Kh_{máx}=2.171$ y un $Kh_{máx}=2.018$ respectivamente, muestran que los diseños de los sistemas de abastecimiento están dentro de los límites establecidos por la normativa, que varía entre 2.00 y 2.30. Por otro lado, en las redes 1, 3 y 5 se obtuvo un $Kh_{máx}= 3.053$, $Kh_{máx}=2.364$ y $Kh_{máx}=2.768$ superan los límites de la normativa y por lo tanto no se consideran recomendables hasta que la norma sea actualizada.

5.2. Recomendaciones

Previo al inicio de la recopilación de información, que incluye encuestas y la lectura de medidores, resulta fundamental llevar a cabo una socialización del tema de investigación con aquellos responsables del suministro de agua potable, de esta manera se informa a todos los habitantes de manera eficiente, facilitando así la recopilación de datos.

Se sugiere la incorporación de equipos modernos que simplifiquen la captura de lecturas de medidores, permitiendo realizar el trabajo de manera más eficiente, teniendo en cuenta los parámetros y requerimientos del estudio también se evitará molestias a los moradores.

BIBLIOGRAFÍA

- Alulema, L., & Estrada, H. (2023). *Estudio del Consumo Horario Residencial de Agua Potable en las Redes Saboya; Veranillo; Maldonado; Piscín de la ciudad de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- 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 / Drinking water consumption and endowment in Ecuadorian towns with less than 150 000 inhabitants. *NOVASINERGIA*, 1(1), 23–32.
<https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- Arellano, A., Gonzáles, 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*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Cáceres, S., & Chambilla, I. (2019). Análisis del Consumo de Agua Potable en el Centro Poblado de Salcedo, Puno. *INVESTIGACION & DESARROLLO*, 19(1), 133–144.
<https://doi.org/10.23881/idupbo.019.1-9i>
- Calderón, E., & Tello, M. (2022). *Estudio del Comportamiento de Consumo Horario Residencial de Agua Potable en los Cantones Colta y Penipe*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Carla, F., & Bryan, S. (2021). "ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA POTABLE EN CANTONES DEL NAPO Y PASTAZA. 1–88.
- Carvajal, S., & Pino, C. (2018). *Estimación de dotación y composición de la demanda de agua potable en las parroquias rurales Nayón, el Quinche, Puembo, Pifo, Guayllabamba y llano chico, del distrito metropolitano de Quito*.
- CPE INEN 5. (1992). *Normas Para Estudio y Diseño de sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*.
www.pdfactory.com
- Estacio, S. (2019). *Mejoramiento del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Zona Central de la Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza*. ESPE.
- GAD Municipal del cantón Pastaza. (2023). *Guía Turística Pastaza*.
<https://puyo.gob.ec/servicios/guia-turistica-pastaza/>
- GADM Pastaza. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2030 en Cantón Pastaza*.
- GADM Pastaza. (2020). *Plan de Uso y Gestión de Suelo del Cantón Pastaza*.
- Llamuca, M., & Vallejo, J. (2023). *Análisis del Consumo Horario Residencial de Agua Potable del Cantón Guano*. Universidad Nacional de Chimborazo.

- Macas, J., & Rodas, C. (2023). *Estudio del Comportamiento de Consumo Horario Residencial de Agua Potable en los Cantones Baños y Pelileo*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Mballa, L. V., & Hernandez-Espeticueta, F. (2018). Las políticas públicas de abastecimiento de agua potable y saneamiento para la localidad de Escalerillas, San Luis Potosí – México: escenarios y percepción ciudadana. *Agua y Territorio, 11*, 137–152. <https://doi.org/10.17561/at.11.3378>
- Moreno, E., & Guamán, M. (2023). *Estudio del Comportamiento de Consumo Horario Residencial de Agua Potable en el Cantón Guamote*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- ONU-Agua. (2021). *Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos*.
- Scharager, J., & Reyes, P. (2001). *Muestreo No Probabilístico*.
- UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El Valor del Agua*. Lucart Estudio. www.unwater.org.