



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Título del Proyecto

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO
RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LOS CANTONES COLTA Y
PENIPE”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniería Civil

Autores:

Calderón Huilca Erika Johanna
Tello Fernández María Isabel

Tutor:

Ing. María Gabriela Zúñiga MSc.

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotras, **Calderón Huilca Erika Johanna** con cédula de ciudadanía **0604735332** y **Tello Fernández María Isabel** con cédula de ciudadanía **0604834242**, autores del trabajo de investigación titulado: **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LOS CANTONES COLTA Y PENIPE”**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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 de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 25 de agosto de 2022.

Erika Johanna Calderón Huilca

C.I: 0604735332

María Isabel Tello Fernández

C.I: 0604834242

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LOS CANTONES COLTA Y PENIPE”**, presentado por **Erika Johanna Calderón Huilca** con cédula de identidad número **0604735332** y **María Isabel Tello Fernández** con cédula de identidad número **0604834242** 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 autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 25 de agosto de 2022.

Ing./Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



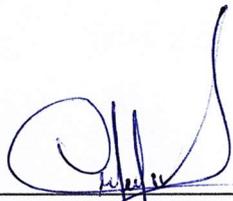
Firma

Ing./Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

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



Firma

Ing./Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
TUTORA



Firma

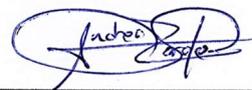
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LOS CANTONES COLTA Y PENIPE”**, presentado por **Erika Johanna Calderón Huilca** con cédula de identidad número **0604735332** y **María Isabel Tello Fernández** con cédula de identidad número **0604834242**, bajo la tutoría de Ing/ 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, 25 de agosto de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés



Firma

Miembro del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga



Firma

Miembro del Tribunal de Grado

Ing./Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **CALDERÓN HUILCA ERIKA JOHANNA** con CC: **0604735332** y **TELLO FERNÁNDEZ MARÍA ISABEL** con CC: **0604834242**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE EN LOS CANTONES COLTA Y PENIPE”**, cumple con el **2 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **OURIGINAL (URKUND)**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 02 de agosto de 2022

Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
TUTORA

DEDICATORIA

A mis padres Janet y Kléver, y a mis hermanos Kléver Augusto y Karen, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de los años.

A mis abuelitas Carmen y Vitela quienes han sido mis segundas madres, y a mis angelitos hasta el cielo Gonzalo y Ángel, quienes a través de sus anécdotas y consejos han sabido inculcarnos valores hacia la familia y sociedad.

Erika Johanna Calderón Huilca

Dedicado inicialmente a Dios, por darme una vida llena de alegrías, experiencias y sueños que se han convertido en metas cumplidas. A mis padres Margarita y Roberto por apoyarme en cada momento, por ser mi soporte, por entregarme su amor y darme consejos que me hicieron mejor ser humano. A mis hermanos Daniela y Felipe, porque son el mayor regalo que me dieron mis padres para jamás sentirme sola.

Además, dedico este trabajo a las poblaciones en estudio ya que se ha requerido de esfuerzo y trabajo para recolectar y analizar toda la información que podría servir como referencia para futuros proyectos.

María Isabel Tello Fernández

AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha acompañado en cada uno de mis pasos, me ha brindado fortaleza y sabiduría en cada momento.

A mi madre Janet que me ha apoyado incondicionalmente, al confiar y creer en mí, con sus palabras de aliento y motivación, a mi padre Kléver que a través de la experiencia me ha guiado a ser una mejor persona a nivel personal como académico. A mis hermanos Kléver Augusto y Karen por estar siempre apoyándonos los unos a los otros.

A ti Isabel, por ser parte de la experiencia que se ha recorrido en el desarrollo de este proyecto y a lo largos de estos años universitarios.

A cada uno de mis docentes quienes a través de sus enseñanzas contribuyeron en mi formación académica y a la Ing. Gabriela Zúñiga por guiarnos en esta investigación.

Erika Johanna Calderón Huilca

En estas líneas quiero agradecer principalmente a mi madre por ver virtudes en mí aun cuando me sentía insegura, por enseñarme a ver el lado positivo de la vida, por motivarme con palabras de amor para continuar con mi formación profesional. A mi padre, quien me ha formado con carácter para ser responsable, honesta y dedicada en cada objetivo que me propongo. A mis hermanos por ayudarme siempre, son lo más importante que tengo.

Un agradecimiento a Anderson quien ha sido una persona incondicional desde que nos conocimos, gracias por ser parte de mi vida.

Finalmente, un agradecimiento a mi compañera de tesis Erika, a la Universidad Nacional de Chimborazo, a mis profesores de la carrera de Ingeniería Civil, en especial a la Ing. Gabriela Zúñiga por su asesoramiento en este trabajo.

¡Gracias a Dios por todo lo que he logrado!

María Isabel Tello Fernández

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1.	Antecedentes.....	13
1.2.	Planteamiento del problema.....	14
1.3.	Objetivos.....	15
1.3.1.	General.....	15
1.3.2.	Específicos.....	15
2.	MARCO TEÓRICO	16
2.1.	Conceptos generales	16
2.1.1.	Agua	16
2.1.2.	Tipos de agua.....	16
2.2.	Consumo de agua potable	16
2.3.	Factores que influyen el consumo de agua	16
2.4.	Estado del arte.....	17
3.	METODOLOGÍA.....	19
3.1.	Tipo de investigación.....	19
3.2.	Métodos y técnicas de recolección de datos	19
3.3.	Población de estudio y tamaño de muestra	20
3.3.1.	Población	20
3.3.2.	Muestra	20
3.4.	Procesamiento y análisis de datos.....	20
3.4.1.	Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística.....	20
3.4.2.	Procesamiento y análisis de datos para la aplicación de encuestas	21
3.4.3.	Procesamiento y análisis de datos recolectados en campo	21
3.4.4.	Procesamiento y análisis estadístico.....	25
3.4.5.	Procesamiento para digitalización los resultados mediante un sistema de información geográfica.....	28

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1.	Principales factores que inciden en el consumo de agua potable	29
4.1.1.	Estratificación	29
4.1.2.	Número de usuarios	29
4.1.3.	Unidades sanitarias	30
4.1.4.	Unidades de almacenamiento	31
4.1.5.	Nivel de servicio	32
4.2.	Curvas de consumo horario residencial	33
4.2.1.	Consumos horarios máximos por barrios	33
4.2.2.	Curva de consumo horario máximos por cantón	37
4.2.3.	Comparativa de coeficientes máximos de modulación horario de cada barrio vs normativa	38
4.2.4.	Estimación de la curva de modulación horaria.....	40
4.3.	Mapas de la red de abastecimiento	41
5.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	43
5.1.	Conclusiones	43
5.2.	Recomendaciones	44
6.	BIBLIOGRAFÍA	45
7.	ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Muestras para los cantones Colta y Penipe	20
Tabla 2 Tipos de medidores que se encuentran en los cantones Colta y Penipe	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de los cantones Colta y Penipe	13
Figura 2 Esquema metodológico	19
Figura 3 Distribución de muestras cantón Colta	22
Figura 4 Distribución de muestras cantón Penipe	23
Figura 5 Plantilla del registro para toma de datos de volúmenes horarios de agua.....	24
Figura 6 Tabulación datos iniciales del barrio 2 de agosto (Colta).....	26
Figura 7 Tabulación datos iniciales barrio Central (Penipe).....	26
Figura 8 Validación de datos barrio 2 de Agosto (Colta).....	27
Figura 9 Validación de datos barrio Central (Penipe).....	27
Figura 10 Porcentaje de manzanas estratificadas en los cantones Colta y Penipe	29
Figura 11 Promedio de usuarios en los cantones Colta y Penipe.....	30
Figura 12 Unidades de almacenamiento en viviendas de los cantones Colta y Penipe	31
Figura 13 Calidad de agua potable en viviendas de los cantones Colta y Penipe	32
Figura 14 Variación de consumo horario residencial en Colta	34
Figura 15 Variación de consumo horario residencial en Penipe	36
Figura 16 Consumo horario residencial del cantón Colta	37
Figura 17 Consumo horario residencial del cantón Penipe.....	38
Figura 18 Comparativa (Kh) CPE INEN vs (Kh)max de cada barrio de Colta	39
Figura 19 Comparativa (Kh) CPE INEN vs (Kh)max de cada barrio de Penipe	39
Figura 20 Curva de modulación horaria (Kh) del cantón Colta.....	40
Figura 21 Curva de modulación horaria (Kh) del cantón Penipe	40
Figura 22 Caracterización de la curva de consumo horario residencial de Colta	41
Figura 23 Caracterización de la curva de consumo horario residencial de Penipe	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Encuesta aplicada.....	47
Anexo 2 Resultados de la encuesta	49
Anexo 3 Etiqueta	51
Anexo 4 Lectura en campo.....	51
Anexo 5 Curvas de datos iniciales de los barrios de Colta y Penipe.....	53
Anexo 6 Diagrama de cajas de bigotes de los barrios de Colta y Penipe.....	58
Anexo 7 Curvas de consumo de agua residencial de los barrios de Colta y Penipe	63
Anexo 8 Curvas de modulación horaria (Kh) de los barrios de Colta y Penipe.....	68

RESUMEN

En la actualidad, el derecho al acceso al agua potabilizada y sistemas de saneamiento sigue siendo una problemática de desigual debido a la falta de gestión por parte del gobierno y del nivel económico de la población. En Chimborazo, las empresas encargadas del servicio estiman de manera aproximada el consumo de agua potable y su variación, dejando atrás la importancia de su utilidad para los diseños y ampliación de redes de distribución. El presente proyecto de investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento del consumo horario de agua potable en zonas residenciales urbanas de los cantones Colta y Penipe, basados en datos estadísticos y la categorización de los principales factores que influyen en el consumo. Para llevar a cabo esta investigación se realizó encuestas, entrevistas y lecturas del registro horario de los medidores residenciales de agua a una muestra de la población durante 24 horas los 7 días de la semana. Entre los principales factores que influyen en el consumo se identificaron: estratificación, número de usuarios, unidades sanitarias, unidades de almacenamiento y nivel de servicio. A través de las curvas horarias se obtuvo los patrones máximos de consumo horario siendo en Colta a las 8h00 de $Q_{max} = 150 \text{ l/h}$ y en Penipe desde las 13h00 a 15h00 con $Q_{max} = 85.25 \text{ l/h}$, por otra parte, los coeficientes de modulación horarios (Kh_{max}) que se podrán utilizar en el diseño son 2.72 y 2.89 respectivamente. Estos valores se representaron mediante digitalización georreferenciada con el fin de identificarlos fácilmente, y con ello aportar al manejo y mejora de la gestión del agua, al beneficio ambiental, sanitario y económico y al diseño y ampliaciones de redes futuras.

Palabras claves: agua potable, medidores, consumo horario, factores, digitalización.

ABSTRACT

Currently, the right to access potable water and sanitation systems continue to be a problem of inequality due to the lack of management by the government and the economic level of the population. In Chimborazo, the companies in charge of the service roughly estimate the consumption of drinking water and its variation, leaving behind the importance of its usefulness for designing and expanding distribution networks. This research project aims to analyze the behavior of hourly drinking water consumption in urban residential areas of Colta and Penipe cantons based on statistical data and categorize the main factors that influence consumption. To carry out this research, surveys, interviews, and readings of the hourly register of residential water meters were conducted with a sample of the population 24 hours a day, seven days a week. Among the main factors influencing consumption, the following were identified: stratification, number of users, sanitary units, storage units, and level of service. The maximum hourly consumption patterns were obtained through the hourly curves in Colta and Penipe. On the other hand, the hourly modulation coefficients used in the design are and respectively. These values were represented using georeferenced digitalization to identify them easily and thus contribute to the management and improvement of water management, the environmental, sanitary and economic benefits, and the design and expansion of future networks.

Keywords: drinking water, meters, hourly consumption, factors, digitalization.

Translation of the abstract reviewed by



Firmado electrónicamente por:
**BLANCA NARCISA
FUERTES LOPEZ**

Mgs. Narcisca Fuertes, PhD

Professor at Competencias Lingüísticas UNACH

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los cantones Colta y Penipe se encuentran ubicados en la provincia de Chimborazo en la zona centro de la sierra ecuatoriana, con coordenadas UTM (E 747708.08; N 9811753.70) y UTM (E 774653.73; N 9826754.61) respectivamente. Colta se encuentra al noroccidente de la provincia con una extensión de 850 Km² y Penipe está situado al noreste de Chimborazo con una extensión de 386 Km² como se aprecia en la **Figura 1**.

Figura 1

Ubicación de los cantones Colta y Penipe



Fuente. (Sitios Google, 2010)

La cabecera cantonal de Colta consta de 12 barrios que forman las parroquias urbanas Cajabamba y Sicalpa, cuenta con un sistema de abastecimiento de agua que proporciona a 1021 acometidas y está conformado por dos redes de distribución: la red Occidental que distribuye a los barrios Sto. Domingo, Sto. Cristo, Miraflores, San Francisco, San Lorenzo, La Concepción, Marianitas y Cunugpoggio, mientras que la red Oriental distribuye a los barrios San Sebastián, 2 de Agosto, La Loma y Misquilli.

En cuanto, el cantón Penipe presenta una sola red de distribución que abastece a 725 acometidas de la cabecera cantonal, misma que está conformada por 9 barrios, Mirador, Cristo Rey, Central, Primavera, San Francisco, Calvario, Vergel, Miduvi y Buen Samaritano,

hay que resaltar que el último barrio no cuenta con medidores, pero si con el servicio de abastecimiento de agua.

Para realizar los estudios de consumo de agua en una población, no solo se debe evaluar la demanda, sino también los factores que caracterizan el consumo de agua de dicho sector, de acuerdo con las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018, los factores que influyen en el consumo de agua en una población son climáticos, sociales, económicos y/o cultural, mismos que se han visto relacionados en diferentes ciudades del Ecuador (Huaquisto & Chambilla, 2019).

En Colta y Penipe el agua es utilizada principalmente en la agricultura, ganadería y turismo, pero en el sector urbano, las actividades domésticas se convierten en el principal motivo de consumo del líquido vital, el mismo que es registrado mensualmente por los gobiernos locales. La tarifa mensual base (0 – 20 m^3) para zonas residenciales por cada m^3 de agua consumida en Colta es de \$2.50 y en Penipe de \$1.00.

Por ende, es responsabilidad de los GADs proporcionar un adecuado y eficiente sistema de agua potable, que cubra las necesidades básicas y que a través del análisis de consumo horario en zonas residenciales permita determinar la demanda de agua potable más crítica en la red al momento de diseñar, rehabilitar y/o gestionar redes hidráulicas.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento del consumo horario de agua potable en zonas residenciales urbanas de los cantones Colta y Penipe, basados en datos estadísticos y la categorización de los principales factores que influyen en el consumo. Para llevar a cabo esta investigación, se realizará encuestas, entrevistas y se tomará el registro horario de los medidores de agua a una muestra de la población durante un periodo de tiempo.

Con este estudio se aporta al manejo y mejora de la gestión del agua, beneficio ambiental, sanitario, económico, diseño y ampliaciones de redes futuras.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad el privilegio de tener agua en el hogar sigue siendo un problema de desigualdad por la falta de gestión de las autoridades y por falta de conciencia por parte de las personas. En el 2020 la población que cuenta con servicio de agua potable gestionado de forma segura es de apenas el 74% a nivel mundial (Diario Responsable, 2021).

Según el informe de “Progreso del agua potable, el saneamiento y la higiene en los hogares 2000-2020” emitido por la OMS y UNICEF indica que estamos lejos de alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible para el 2030 (Diario Responsable, 2021). Las cifras son aún más alarmantes para los países en desarrollo como Ecuador, en donde la falta de consideraciones y criterios no son suficientes para poder diseñar un aceptable sistema de abastecimiento de agua potable.

El uso diario de agua potable sobre todo en el sector urbano cambia de acuerdo con el desarrollo demográfico, tecnológico, económico y social, es decir, dependerá de las características de cada población (Arellano et al., 2018), esto influirá en la correcta distribución de recursos para un sector establecido tomando en cuenta que el agua es un derecho para todo ser humano.

Otro de los factores importantes a evaluar es el nivel de servicio que brinda la empresa de abastecimiento de agua, tomando en cuenta la operación, mantenimiento e incluso la gestión. En el caso de Colta y Penipe esto suele ser un problema que se ve reflejado sobre todo en las épocas de invierno en donde el agua de captación no es tratada adecuadamente, ocasionando reboses, rupturas de tubería y la calidad para el consumo del usuario es deficiente, ocasionando que en estas épocas el agua sea menos consumida por la población.

En Chimborazo por lo general, las empresas municipales de los cantones no cuentan con suficiente información acerca del consumo diario y horario de agua potable, por ello, en esta investigación se recopilará datos y evidencias con la finalidad de generar una curva patrón de consumo horario residencial que pueda servir para futuros proyectos y mejorar la gestión del abastecimiento de agua potable.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Establecer el comportamiento de la demanda horaria residencial de agua potable en los cantones Colta y Penipe.

1.3.2. Específicos

- Categorizar los principales factores que inciden en el consumo residencial de agua potable en los cantones Colta y Penipe.
- Generar la curva de consumo horario residencial de agua potable en los cantones Colta y Penipe.
- Digitalizar los resultados mediante un sistema de información geográfica de la red de abastecimiento de agua potable de la zona residencial en los cantones Colta y Penipe.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos generales

2.1.1. Agua

El agua es un recurso renovable, sin embargo solo el 2.5% del agua del planeta es dulce, permitiendo el desarrollo a la humanidad, vida animal y vegetal (Fernández, 2012).

2.1.2. Tipos de agua

Se puede encontrar en la naturaleza en diferentes tipos: el agua cruda la cual no ha recibido tratamiento para cambiar sus propiedades físicas, químicas, radiológicas, biológicas o microbiológicas; el agua pura que ha recibido tratamiento y se encuentra libre de impurezas, partículas, microorganismos y minerales contaminantes; el agua potable que es destinada para el consumo humana, se encuentra libre de organismos o sustancias que pueden provocar enfermedades o daños perjudiciales y cumplen con los requisitos de las normativas vigentes (CPE INEN 5, 1992).

2.2. Consumo de agua potable

De acuerdo con la OMS una persona necesita al menos 50 litros diarios para satisfacer necesidades básicas, pero las circunstancias hacen que las cifras cambien dependiendo del país o la región, por ejemplo, en ciudades de Estados Unidos el consumo doméstico es de 596 *l/hab/día*, en Brasil es 192 *l/hab/día*, en Bangladesh es 44 *l/hab/día*, en Bogotá de 125 *l/hab/día* y Quito entre 200 a 220 *l/hab/día* (Huaquisto & Chambilla, 2019).

Según Arellano et al. (2018), la magnitud de las ciudades y los hábitos de la población influyen en el consumo de agua potable, por ejemplo, en Ecuador para poblaciones de 10.000 habitantes el consumo máximo es 240 *l/hab/día*, pero el valor máximo establecido por la normativa CPE INEN 5 es de 220 *l/hab/día*, causando un subdimensionamiento en las redes agua potable, mientras que para poblaciones comprendidas entre 500 a 8.000 habitantes la normativa cumple con la demanda.

2.3. Factores que influyen el consumo de agua

Entre los factores que señala la investigación de Arellano et al. (2018) se encuentran los demográficos que da paso a la necesidad de nuevas redes de distribución por crecimiento poblacional, socioeconómicos que repercute la demanda de agua tanto en grandes ciudades o pequeños pueblos y los factores climáticos que se asocian a la humedad atmosférica máxima, temperatura máxima y precipitación.

Según Arellano & Lindao (2019), el factor socioeconómico se ve relacionado con calidad y gestión del agua, derivando al consumo de agua embotellada. Este consumo es inversamente proporcional con los parámetros evaluados del Ingecap y directamente proporcional con la capacidad económica del usuario.

Entre otros factores que inciden son la disponibilidad de agua potable; la presión mientras más alta, más se desperdicia al momento de abrir las llaves, o si la presión es baja afectará el funcionamiento de los aparatos, llaves, duchas, etc.; la efectividad de red de alcantarillado genera un mayor consumo que los sistemas de letrinas o pozos sépticos; las fugas y desperdicios del agua se ven influenciadas por la calidad y vida útil de las tuberías, el proceso constructivo, mantenimiento y operación del sistema (Tipán Jinde, 2017).

Además, el costo por m^3 que determinen las empresas encargadas de la red pública de agua influirá, debido a que si el costo aumenta el consumo disminuye por parte de los usuarios (Arellano & Peña, 2020).

2.4. Estado del arte

Con el fin de garantizar un óptimo diseño para un sistema de abastecimiento de agua potable es importante la estimación correcta de la demanda, misma que está influenciada por las variaciones de consumo interanuales, estacionales, semanales, diarias y horarias (Tzatchkov & Alcocer-Yamanak, 2016).

En el caso de los países subdesarrollados como Ecuador la norma está desactualizada, dado que este tipo de datos no son recopilados en las empresas de agua potable y la lectura de medidores arrojan únicamente datos mensuales.

Por esto, surge la necesidad de buscar un enfoque realista que incluya un estudio más preciso del consumo residencial en una escala Kh horaria, que se resuma en una curva o coeficiente que pueda ser empleado por los profesionales.

Para encontrar estos coeficientes, primero se debe establecer la curva de variación para una localidad, generalmente se obtiene de las mediciones continuas del gasto en una tubería de la red de distribución, de esta manera, se logra generalizar la relación entre el gasto máximo y medio de demanda de agua que se transportará en cualquier otra tubería del sitio establecido (Tzatchkov & Alcocer-Yamanak, 2016).

A partir de los años noventa y hasta el momento en Ecuador los coeficientes utilizados para diseños de abastecimiento de agua potable son los señalados en la normativa CPE INEN 5 (1992), en el apartado de variación de consumo que expresa un rango de 2.00 a 2.30 como se aprecia en la ecuación (1).

$$K_{max.hor} = (2.00 \text{ a } 2.30) * Q_{med} \quad (1)$$

Lo mismo ocurre en las normativas de otros países, pero gracias al desarrollo tecnológico en aplicaciones, sistemas y dispositivos de medición más completos ha provocado que varios investigadores generen estudios de patrones de consumo para diferentes poblaciones. Como es el caso de una investigación realizada en Cuba donde se identificó a través de contadores electrónicos que el horario de menor consumo de agua es de 06h00 a 09h00 y el mayor de 17h00 a 21h00 (Ramos Joseph et al., 2019). Mientras que en México se describe una metodología más avanzada para obtener la variación estocástica de la demanda instantánea de agua potable en donde los resultados de la curva horaria muestran que las horas con mayor consumo son de 09h00 a 10h00 (Tzatchkov & Alcocer-Yamanak, 2016).

Otros estudios realizados en Perú muestran que igualmente se presenta una diferencia entre los coeficientes de variación, por ejemplo, en la zona urbana de Salcedo-Puno los consumos máximos horarios se dan durante la mañana de 07h00 a 08h00 y de 11h00 a 12h00 dando unos coeficientes de variación diario de $K1 = 1,33$ y horario de $K2 = 3.88$ (Huaquisto & Chambilla, 2019). Mientras que, en la ciudad de Huaraz, el coeficiente diario es $K1 = 1.0933$ y el horario es $K2 = 1.355$ (Usua L., 2021).

La importancia de estimar adecuadamente los coeficientes horarios a través de las curvas de variación o modelos matemáticos es indispensable para el diseño y proyección de una red de agua, puesto que estos valores representan el gasto máximo y medio que se transportará en la tubería, garantizando la continuidad y conectividad del flujo y a su vez la eficiencia hídrica del sistema. De esta manera, se podrá generalizar para otras localidades que presenten características similares como la normativa ecuatoriana recomienda que se utilice coeficientes basados de estudios de sistemas existentes (Alcocer-Yamanaka et al., 2012).

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA

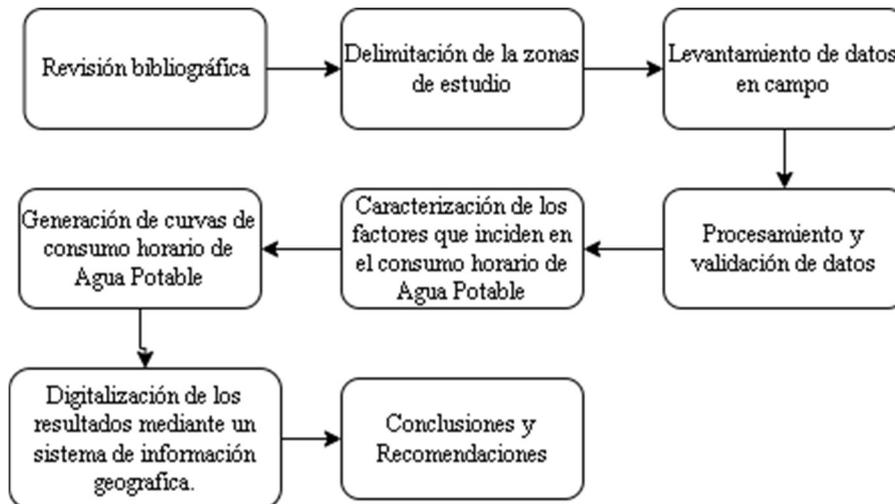
3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo exploratoria, analítica y descriptiva. Exploratoria al realizar mediciones de caudales demandados y encuestas sobre el consumo de agua potable a la población urbana de las zonas residenciales de Colta y Penipe. Analítica puesto que se tabulará los datos obtenidos con el objetivo de encontrar la curva de consumo horario. Descriptiva dado que se contará con las curvas de consumo horario, patrones de consumo y la digitalización de los resultados mediante un sistema de información geográfica.

Según el campo de análisis de datos, el método será de tipo mixto dado que la parte cualitativa es mediante encuestas que permitan caracterizar la zona, mientras que la parte cuantitativa se da a través de la toma de lecturas de los medidores para la determinación de consumo en horarios establecidos. En la **Figura 2** se señala de manera resumida el proceso en el que se basa esta investigación.

Figura 2

Esquema metodológico



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.2. Métodos y técnicas de recolección de datos

Para la caracterización urbanística y socioeconómica se empleó el método de Arellano et al. (2012) que está limitada a poblaciones menores a 150 000 habitantes.

Para la determinación de las muestras de estudio se empleó el método Muestreo probabilístico aleatorio simple de Borja (2012).

3.3. Población de estudio y tamaño de muestra

3.3.1. Población

Para determinar la población de estudio se toma en cuenta los registros generales de acometidas actualizadas a febrero del 2022 proporcionado por los GADs, los cuales indican un total de 1021 acometidas para Colta y 725 para Penipe, posterior a esto se elimina las cuentas que no pertenecen a uso residencial dando como resultado y base para el muestreo de 722 acometidas para Colta y 677 acometidas para Penipe.

3.3.2. Muestra

Para la determinación del muestreo probabilístico, el tamaño de la muestra para el estudio se calcula utilizando la ecuación (2), considerando un margen de error máximo del 5% e intervalo de confianza mínimo del 95%.

$$n = \frac{z^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + z^2 * p * q} \quad (2)$$

Donde:

- n = tamaño de la muestra.
- z = parámetro estadístico que depende del nivel de confianza seleccionado, para el caso de 95% el valor de Z es igual a 1.96.
- N = número de usuarios Residenciales de Agua Potable.
- p = porcentaje de ocurrencia; para el cálculo será igual a 0.50.
- q = porcentaje de no ocurrencia; para el cálculo será igual a 0.50.
- e = Límite aceptable de error 5%.

Tabla 1

Muestras para los cantones Colta y Penipe

Colta	$n = \frac{(1.96)^2 * 722 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2 * (722 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$	$n = 251$ muestras
Penipe	$n = \frac{(1.96)^2 * 677 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2 * (677 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$	$n = 245$ muestras

Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística

Se evaluaron en las zonas urbanas 63 manzanas en Colta y 55 en Penipe, los parámetros que se analizaron para cada lado de cada manzana fueron número de edificaciones, número de pisos, estado de fachadas, tipo de calzada y servicios que dispone la vivienda, el puntaje se asigna de acuerdo con el método de Arellano et al. (2012).

La tabulación de los datos obtenidos se realizó mediante la herramienta de Microsoft Excel, permitiendo definir el lado de cada manzana y luego el estrato socioeconómico de toda la manzana.

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

Se utilizó la aplicación KoBotoolbox de forma que facilite el levantamiento de información en campo. Los parámetros que se analizaron para la identificación del predio son ubicación, tipo de vivienda, dimensión del predio, número de usuarios que viven en el inmueble, uso de unidades sanitarias, implementación de unidades de almacenamiento y calidad del agua ([véase Anexo 1](#)).

La tabulación de los datos obtenidos se realizó mediante la herramienta de Microsoft Excel, entre los criterios que permitieron delimitar el número de muestras para la toma de lectura de medidores en campo son las unidades de almacenamiento (*p. 2.2*), entre los factores que inciden en el consumo de agua potable se determina la calidad (*p. 3.3*), dotación del servicio (*p. 3.1*), uso a las unidades sanitarias disponibles en el inmueble (*p. 2.1*) y número de usuarios (*p. 1.4*) ([véase Anexo 2](#)).

3.4.3. Procesamiento y análisis de datos recolectados en campo

3.4.3.1. Delimitación de la muestra para lectura de medidores

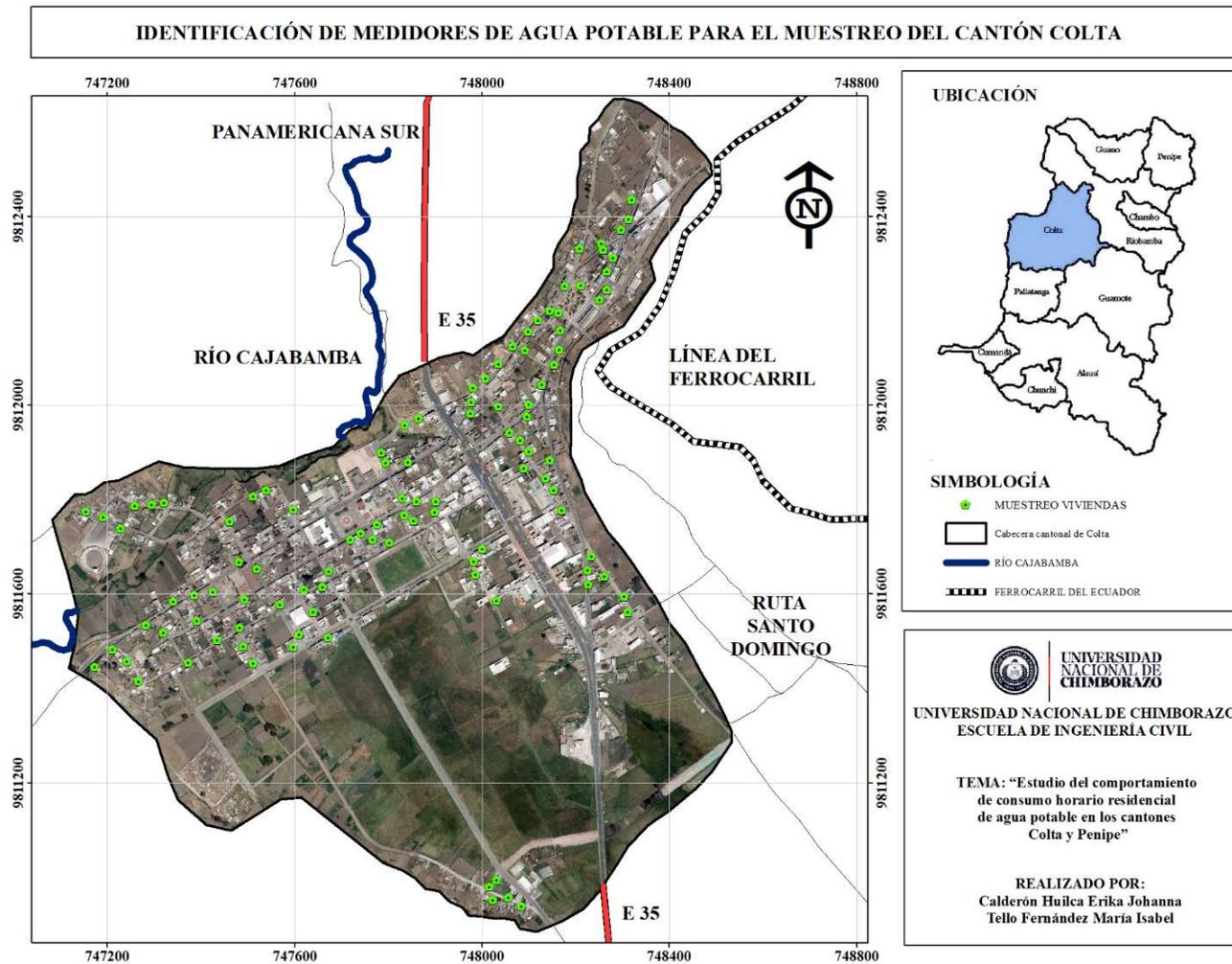
Se delimitó la muestra para la toma de lecturas horarias en los medidores de agua potable dado que existen viviendas que cuentan con unidades de almacenamiento (tanque elevado o cisterna), puesto que estas viviendas no reflejan una lectura real del consumo y a su vez, generarán alternaciones en el análisis de datos.

Obteniéndose un muestreo de 105 para Colta y 88 para Penipe, en la **Figura 3** y **Figura 4** se identifican los puntos georreferenciados que representan a los medidores seleccionados.

Además, se señala la forma en la que se etiquetó las muestras de manera física ([véase Anexo 3](#)).

Figura 3

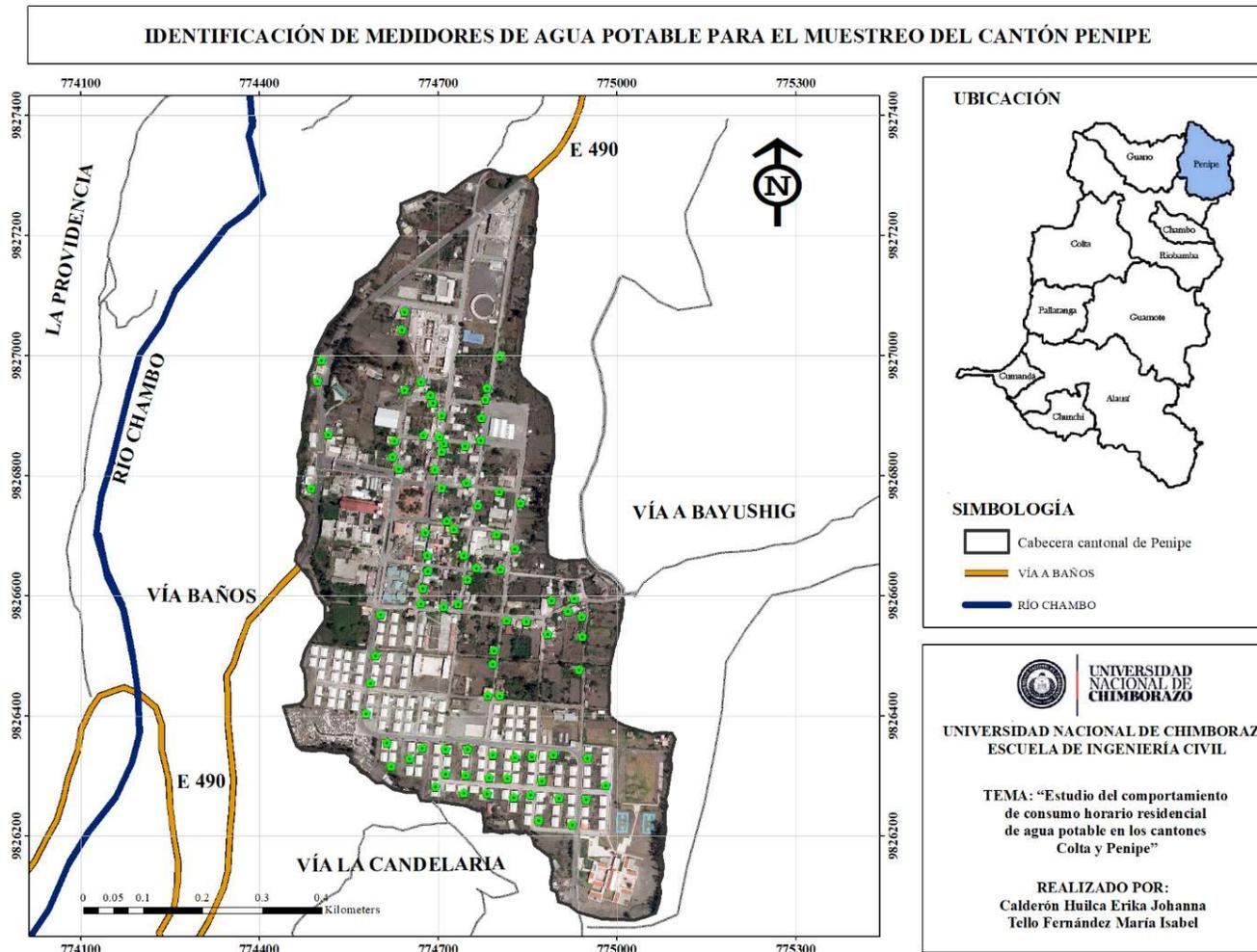
Distribución de muestras cantón Colta



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Figura 4

Distribución de muestras cantón Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.4.3.2. Medición horaria de los volúmenes de agua potable

Para la recolección de las medidas de los volúmenes horarios de agua se ejecutó un registro de lecturas de cada vivienda durante 7 días las 24 horas ([véase Anexo 4](#)), para lo cual se utilizó un formato donde se identificó la dirección del predio, número de la muestra, las horas, los días y la unidad para registrar los metros cúbicos y litros, como se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5

Plantilla del registro para toma de datos de volúmenes horarios de agua

REGISTRO "CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE CANTÓN COLTA"															
Dirección Predio:		Días de Registro												Muestra N.	0
Hora de registro		Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
		m3	l	m3	l	m3	l	m3	l	m3	l	m3	l	m3	l
00:00	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	00:00:00														

Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.4.3.3. Descripción del equipo de medición de caudales

Durante la toma de datos in situ se verificó que los medidores de las viviendas en Colta y Penipe son de chorro simple con transmisión magnética y turbina giratoria, la numeración de la medición que se genera es gracias a la rotación de las turbinas que se mueven por el paso del agua a través del contador, generalmente tienen un porcentaje de $\pm 5\%$ de error máximo permitido (Cabrera, 2016).

Existen varias marcas de medidores de agua como se muestra en la **Tabla 2**, influyendo en el registro de datos, puesto que el número de dígitos que señalan los metros cúbicos y litros se ven representados por 3 dígitos y en otras por 2 dígitos, por ende, se debe leer de diferente manera el caudal consumido.

Tabla 2

Tipos de medidores que se encuentran en los cantones Colta y Penipe

Colta	Penipe
 <p>A close-up photograph of a SAGA water meter. The meter is black with a white face. The brand name 'SAGA' and 'MS' are visible at the top. The meter number '012151801017' is printed in the center. There are two small circular gauges on the right side of the face.</p>	 <p>A close-up photograph of an AHS water meter. The meter is black with a white face. The brand name 'AHS' and 'V-BH Qn 1,5' are visible at the top. The meter number '01172331' is printed in the center. There are two small circular gauges on the right side of the face.</p>
 <p>A photograph of a HIDRO METERS water meter. The meter is blue with a white face. The brand name 'HIDRO METERS' is visible at the top. The meter number '010112417' is printed in the center. There are two small circular gauges on the right side of the face.</p>	
 <p>A photograph of a CENTURY water meter. The meter is blue with a white face. The brand name 'CENTURY' is visible at the top. The meter number '010112417' is printed in the center. There are two small circular gauges on the right side of the face.</p>	

Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

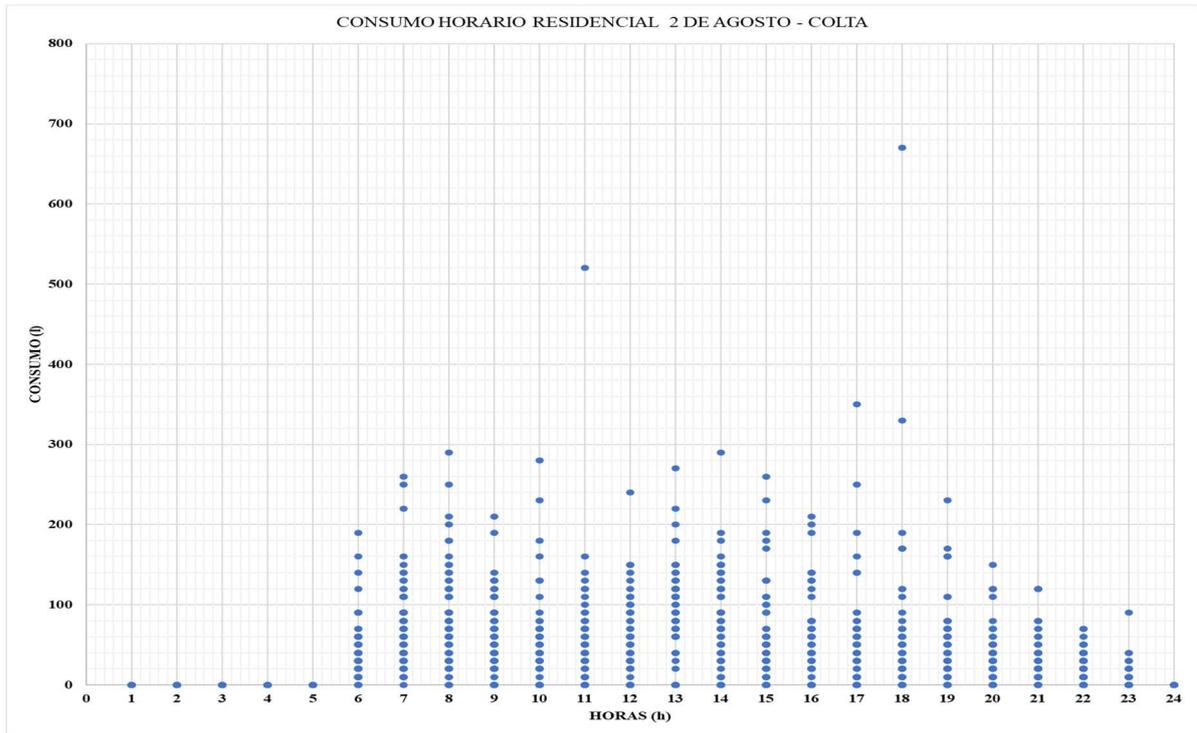
3.4.4. Procesamiento y análisis estadístico

3.4.4.1. Tabulación de datos iniciales

El análisis de las lecturas obtenidas en campo se ha realizado por cada barrio ([véase Anexo 5](#)) durante 7 días las 24 horas con la finalidad de identificar la tendencia de los patrones de consumo horarios, por ejemplo, en los barrios 2 de Agosto (Colta) y Central (Penipe) como se aprecian en las **Figura 6** y **Figura 7** cada punto representa el consumo de una vivienda en 1 hora de un día.

Figura 6

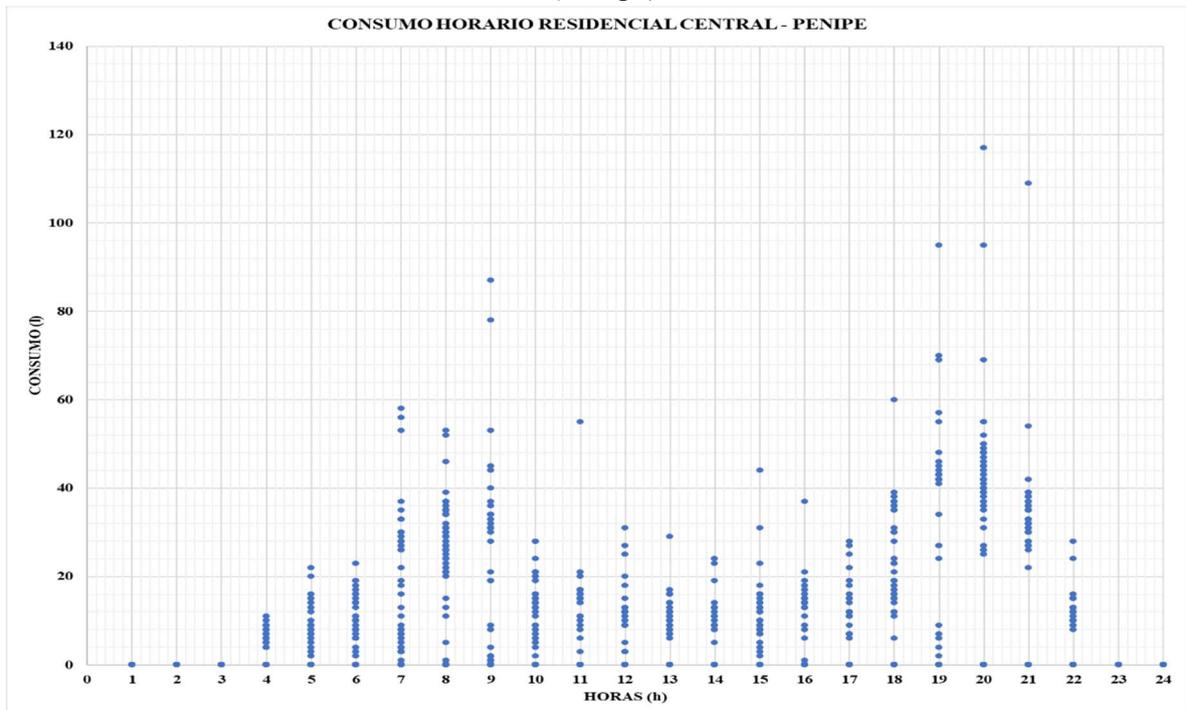
Tabulación datos iniciales del barrio 2 de agosto (Colta)



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Figura 7

Tabulación datos iniciales barrio Central (Penipe)



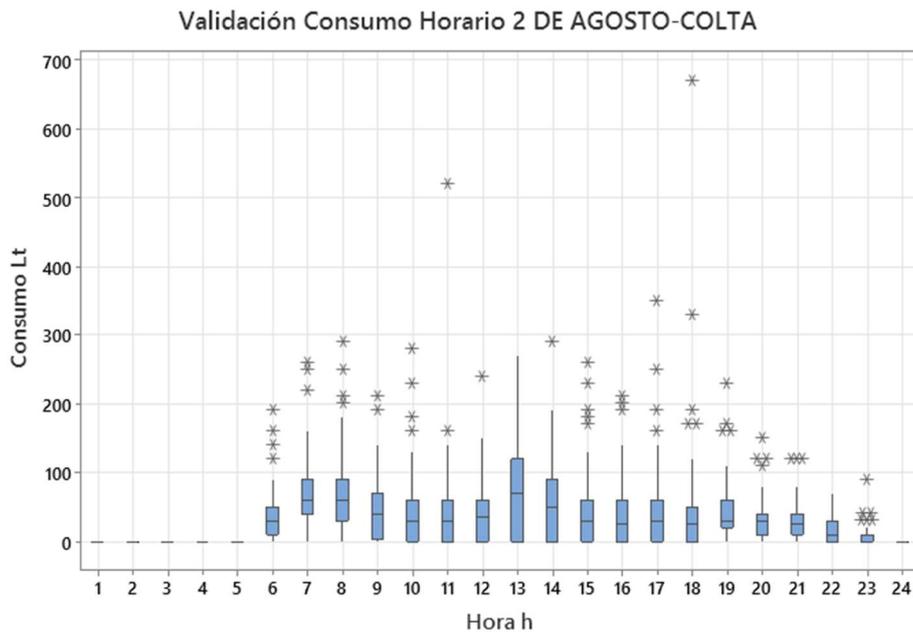
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.4.4.2. Validación de datos

Con el uso de diagramas de cajas y bigotes se ha evaluado la tabulación de datos iniciales con la finalidad de eliminar los datos atípicos ([véase Anexo 6](#)), donde se ha obtenido la mediana, rango intercuartílico $Q1$ y $Q3$, cómo se aprecian en las **Figura 8** y **Figura 9** de los 2 de Agosto (Colta) y Central (Penipe).

Figura 8

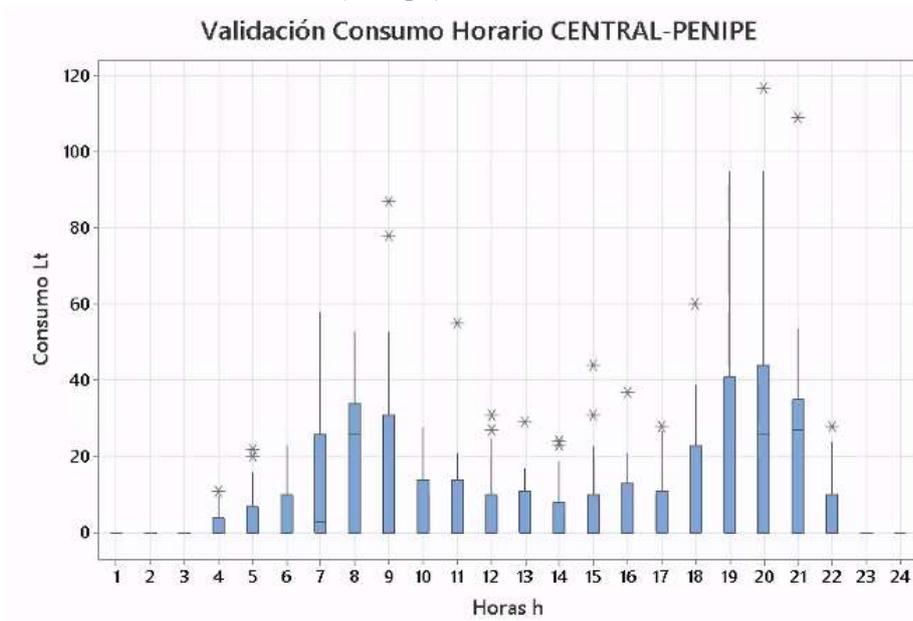
Validación de datos barrio 2 de Agosto (Colta)



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Figura 9

Validación de datos barrio Central (Penipe).



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

3.4.4.3. Representación de curva horaria

Se ha seleccionado el valor del cuartil Q_3 como consumo representativo para cada hora con el propósito de obtener las curvas horarias de cada barrio.

Además, se ha calculado el caudal medio (Q_{medio}) que representa el promedio aritmético de los consumos horarios de agua potable como se expresan en la ecuación (3).

$$Q_{medio} = \frac{Q_{h1} + Q_{h2} + Q_{h3} + \dots + Q_{h24}}{24} \quad (3)$$

Donde:

- Q_{medio} = caudal medio.
- Q_h = consumo de agua en una hora.

Así mismo, se ha establecido el 20% del (Q_{medio}) como caudal de fondo (Q_{fondo}) según estudios realizados en zonas de Chimborazo por Estrada (2019), que corresponde a las posibles fugas y pérdidas en las horas donde no se ha registrado consumo (generalmente en horas de la madrugada) como se expresan en la ecuación (4).

$$Q_{fondo} = 20\% * Q_{medio} \quad (4)$$

Donde:

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

3.4.4.4. Coeficiente de modulación horario (Kh)

El coeficiente de modulación horario permite analizar el funcionamiento del sistema de agua potable, se establece a partir del caudal horario y caudal medio como se expresa en la ecuación (5) según la CPE INEN 5 (1992).

$$Kh = \frac{Q_h}{Q_{medio}} \quad (5)$$

Donde:

- Kh = coeficiente de modulación por hora.
- Q_h = consumo de agua en una hora.
- Q_{medio} = caudal medio.

3.4.5. Procesamiento para digitalización los resultados mediante un sistema de información geográfica

Con las coordenadas geográficas UTM de cada muestra y con los valores de los coeficientes de modulación horario máximos (Kh_{max}) que se obtuvieron en Colta y Penipe se generó en el software ARCGIS las escalas de colores para diferenciar las variaciones de consumo horarios de las poblaciones en estudio.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

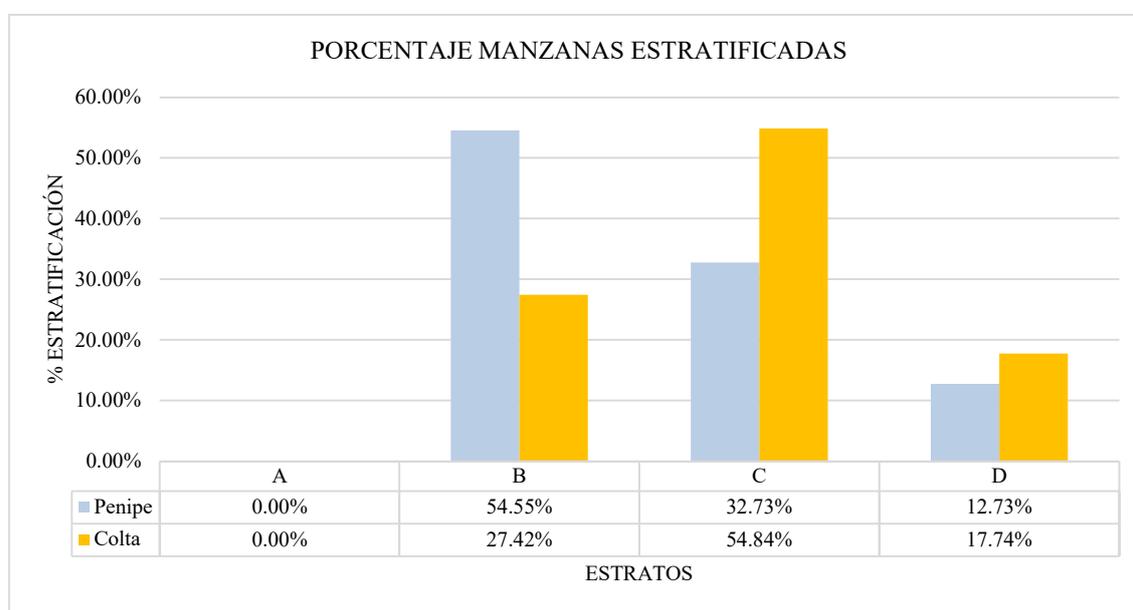
4.1. Principales factores que inciden en el consumo de agua potable

4.1.1. Estratificación

Se ha categorizado las manzanas residenciales en 3 estratos socioeconómicos de acuerdo a la metodología de Arellano et al. (2012), de manera que el estrato C (de ingresos menores que el promedio) predomina en Colta y el estrato B (de ingresos mayores que el promedio) en Penipe como se aprecia en la **Figura 10**.

Figura 10

Porcentaje de manzanas estratificadas en los cantones Colta y Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

El nivel económico se relaciona con el consumo de agua potable, tal como Huaquisto & Chambilla (2019) analiza que al tener un ingreso económico alto, el consumo de agua potable será mayor, mientras que los de ingresos económicos inferiores serán menores.

4.1.2. Número de usuarios

El número de usuarios por vivienda es un factor clave que permite analizar el consumo de agua potable en las zonas de estudio, a su vez, posibilita determinar la demanda per cápita por sector y relacionar una dotación más equitativa para la cual se diseñan las redes de distribución.

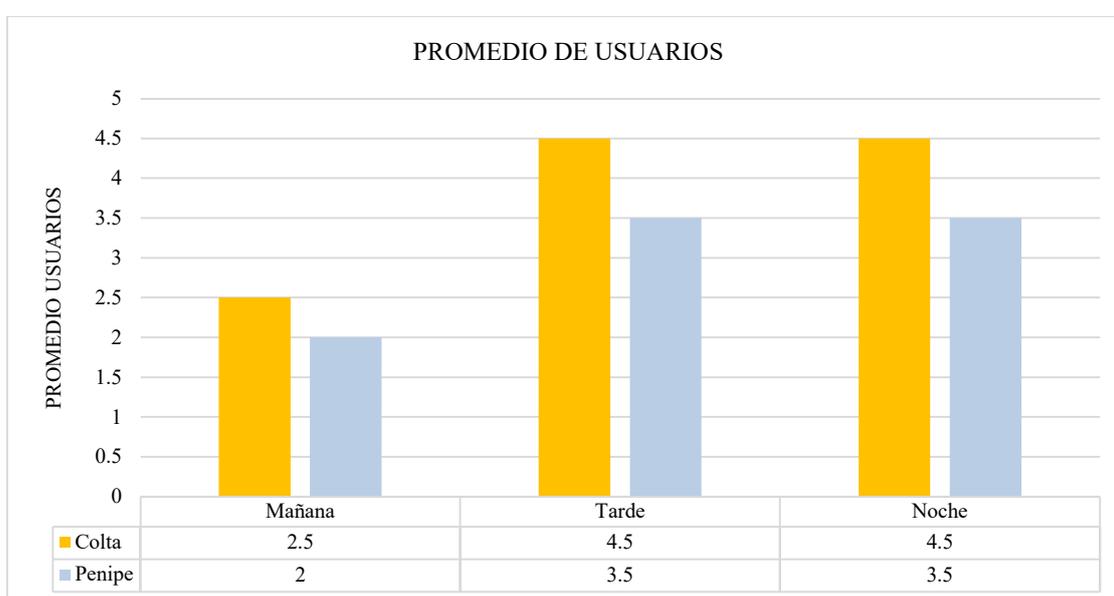
Se ha determinado que el número de usuarios promedio de Colta en la mañana es de 2.5 usuarios/vivienda, en la tarde de 4.5 usuarios/vivienda y en la noche de

4.5 usuarios/vivienda, del mismo modo, en Penipe el promedio es de 2 usuarios/vivienda, en la tarde de 3.5 usuarios/vivienda y en la noche de 3.5 usuarios/vivienda como se aprecia en la **Figura 11**.

De acuerdo con Huaquisto & Chambilla (2019) los consumos más altos de agua potable se dan en viviendas de entre 5 hasta 8 usuarios, a diferencia de viviendas con un mayor número de usuarios en donde el consumo es menor, dado que se tiene un mejor control de suministro por ser el factor costo el que permita regular su gasto.

Figura 11

Promedio de usuarios en los cantones Colta y Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

4.1.3. Unidades sanitarias

El número de unidades sanitarias permite analizar el consumo de agua potable diario aproximado por vivienda. Con los resultados obtenidos del estudio ([véase Anexo 2](#)), se ha identificado que las unidades implementadas en las viviendas de Colta y Penipe son de uso diario como inodoro, lavamanos, ducha, tanque de lavar y grifos entre un 100% a 74.41%, mientras que lavadoras entre un 15.35% y 31.43%, el lavado de carro entre 1% a 4% dado que los usuarios prefieren pagar por el servicio.

De acuerdo con Caiza (2019), el número de unidades sanitarias (US) por vivienda facilita caracterizar una vivienda tipo. Por ejemplo, si se tiene hasta 6 (US) es de tipo unifamiliar, hasta 11 (US) es bifamiliar y 16 (US) en adelante es de tipo edificio residencial.

Según Arellano et al. (2019), por este motivo recomienda implementar modelos matemáticos para establecer tarifas diferenciadas, puesto que mientras más aparatos

sanitarios se tenga a disposición mayor será la tarifa, y a su vez, habrá un mayor consumo de agua.

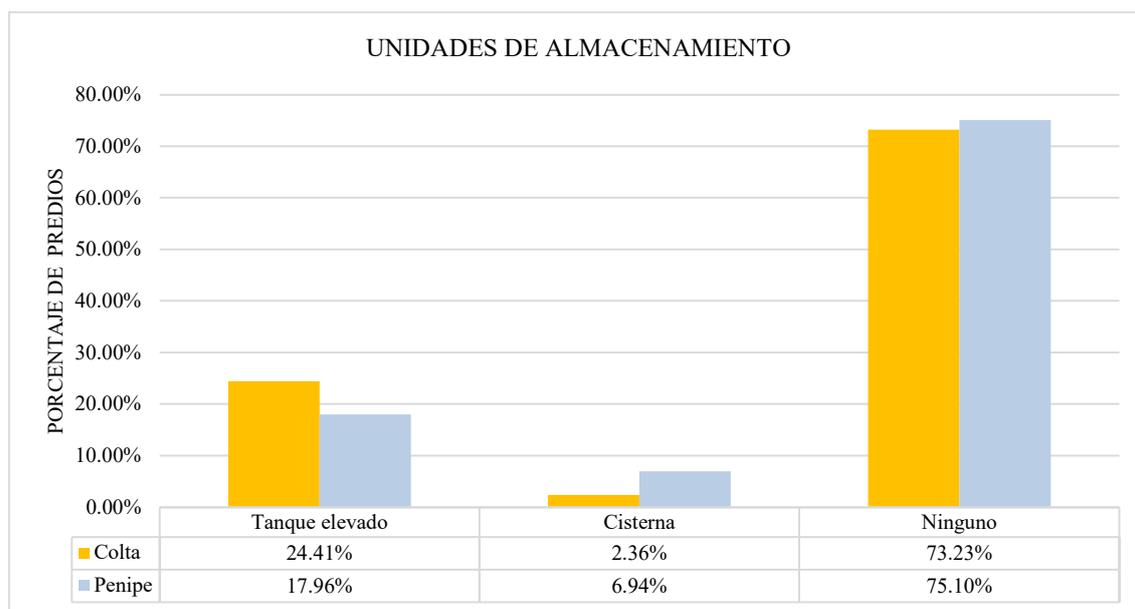
Del mismo modo, se debe identificar los problemas que generen las unidades sanitarias como fugas visibles o desperdicios y asociarlos al uso responsable que se les dé, dado que el número de unidades sanitarias influye directamente en el consumo de agua potable.

4.1.4. Unidades de almacenamiento

Con respecto a Colta se ha determinado que el 24.41% de las viviendas tiene instalados tanques elevados y el 2.36% cisternas, mientras que en Penipe el 17.96% tiene tanques elevados y el 6.94% cisternas como se aprecia en la **Figura 12**, por lo tanto, aproximadamente el 75% de viviendas en ambos cantones cuentan con conexiones directas desde el medidor a los aparatos sanitarios.

Figura 12

Unidades de almacenamiento en viviendas de los cantones Colta y Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

El análisis de las unidades de almacenamiento se ha considerado dado que el gasto consumido entre horas no es equitativo y no se refleja en su totalidad. Por ejemplo, en viviendas que cuenten con unidades de almacenamiento como tanques elevados o cisternas la mayoría de las lecturas horarias serán menores, pero habrá horas en donde el consumo se incrementará considerablemente, por otro lado, en viviendas que no cuentan con unidades de almacenamiento el gasto se irá reflejando en el medidor, gradual y no abrupto.

4.1.5. Nivel de servicio

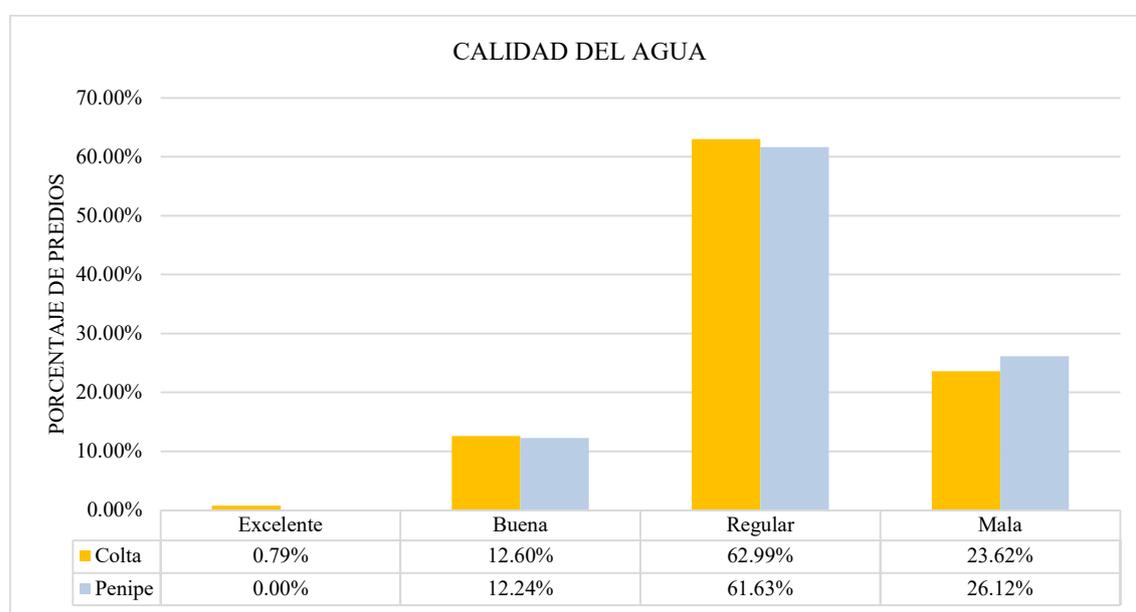
La dotación de agua potable en Colta es permanente el 63.39% mientras que el 29.92% tiene el servicio de 2 a 3 veces al día, igualmente, en Penipe se dispone permanentemente el 88.16% y el 11.84% es de 2 a 3 veces al día.

No obstante, la calidad del agua potable está influenciada por factores externos como el origen de captación que se ve afectada por cambios climáticos que influyen en la disponibilidad del suministro o el tratamiento que se le dé para el consumo. Como se aprecia en la **Figura 13**, el 62.99% consideró que la calidad es regular y el 23.62% es mala en Colta, mientras que en Penipe considera el 61.63% es regular y el 26.12% es mala.

Aproximadamente solo el 12% de la población de Colta y Penipe ha considerado que la calidad es buena, por lo que el tipo de consumo que se le dé se asocia con las características demográficas y socio económicas, habrá sectores que empleen el consumo de agua potable para todo uso en general, mientras que otros sectores preferirán consumir agua embotellada para el consumo humano. Arellano & Lindao (2019), señalan que el consumo de bidones de agua depende del estrato socio económico y del índice de calidad y gestión de agua potable (Ingecap), mientras mayor viabilidad económica del usuario, mayor consumo de agua embotellada, al igual que si el Ingecap aumenta, el consumo per cápita de bidones disminuye.

Figura 13

Calidad de agua potable en viviendas de los cantones Colta y Penipe.



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

4.2. Curvas de consumo horario residencial

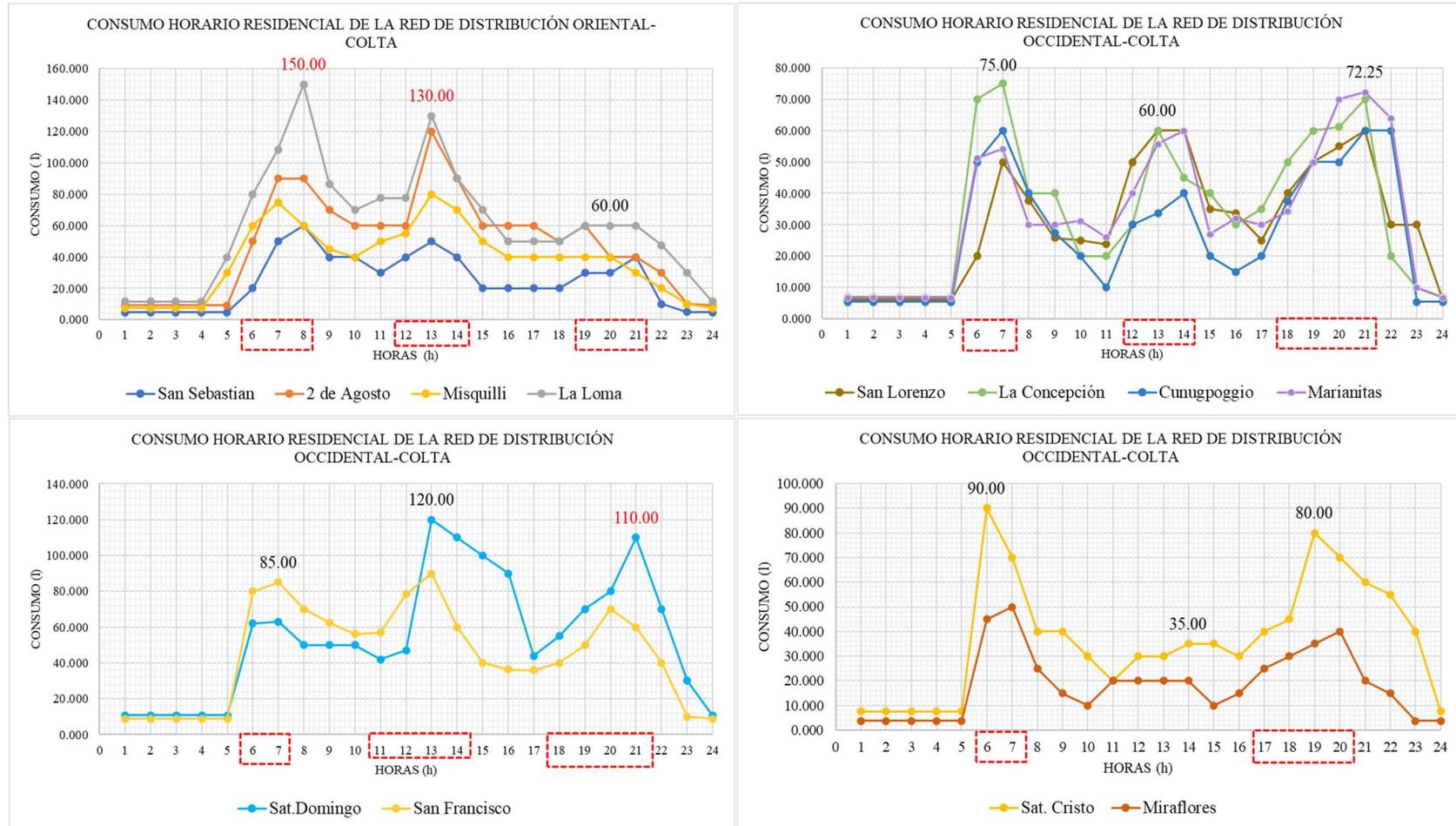
4.2.1. Consumos horarios máximos por barrios

Se ha comprobado que existen similitudes en los patrones de consumo horario de agua potable en los barrios de los cantones estudiados ([véase Anexo 7](#)), por ejemplo, en la **Figura 14** se muestra el comportamiento de la red de distribución Oriental y Occidental de Colta.

- La red de distribución Oriental está conformada por los barrios San Sebastián, 2 de Agosto, La Loma y Misquilli en donde las horas de mayor consumo son de 6h00 a 8h00, de 12h00 a 14h00 y de 19h00 a 21h00 con un caudal máximo comprendido entre 60.00 l/h a 150.00 l/h.
- En la red de distribución Occidental de Colta, el comportamiento del consumo de agua por barrios se asocia de distinta manera:
 - San Lorenzo, La Concepción, Cunugpoggio y Marianitas presentan un patrón máximo de consumo de 6h00 a 7h00, de 12h00 a 14h00 y de 18h00 a 21h00 con un caudal máximo comprendido entre 60.00 l/h a 75.00 l/h.
 - Santo Domingo y San Francisco tienen una similitud en las horas de consumo, siendo de 6h00 a 7h00, de 11h00 a 13h00 y de 18h00 a 21h00, con un caudal máximo comprendido entre 85.00 l/h a 120.00 l/h.
 - Santo Cristo y Miraflores presentan un comportamiento diferente dado que el suministro de agua es discontinuo las 24 horas, en donde las horas de mayor consumo de agua son de 6h00 a 7h00 y de 17h00 a 20h00 con un caudal máximo comprendido entre 35.00 l/h a 90.00 l/h.

Figura 14

Variación de consumo horario residencial en Colta



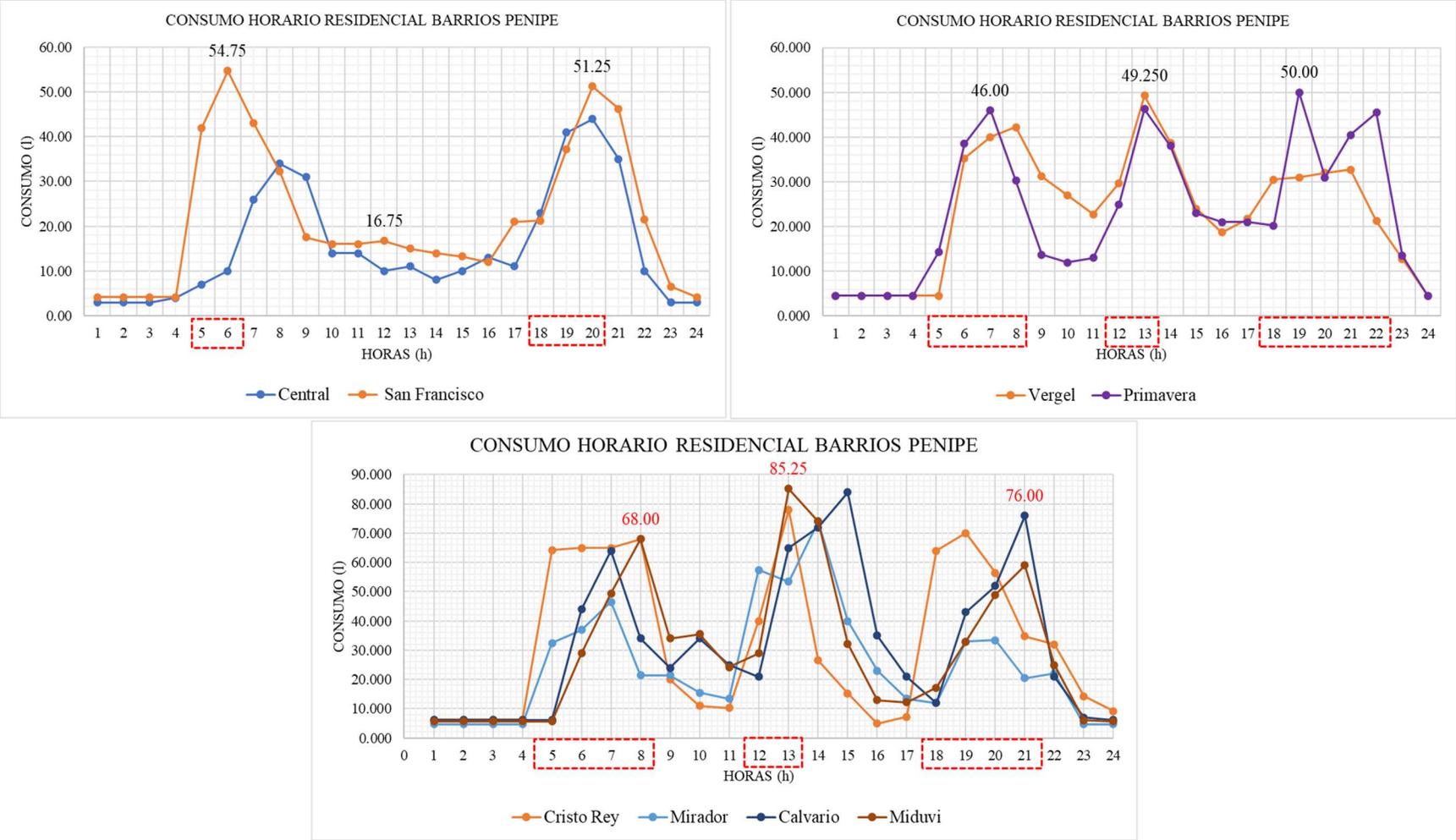
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

En el cantón Penipe existe una sola red de distribución que abastece a todos los barrios como se aprecia en la **Figura 15**, pero se agrupan de acuerdo con las similitudes de consumo de los usuarios.

- Los barrios Central y San Francisco presentan un patrón de 5h00 a 6h00 y de 18h00 a 20h00, con un caudal máximo comprendido entre 16.75 *l/h* a 54.75 *l/h*.
- Vergel y Primavera muestran un patrón máximo de consumo de agua de 5h00 a 8h00, de 12h00 a 13h00, de 18h00 a 22h00, con un caudal máximo comprendido entre 46.000 *l/h* a 50.00 *l/h*
- Cristo Rey, Mirador, Calvario y Miduvi tienen un consumo horario de agua que abarca de 5h00 a 8h00, de 12h00 a 13h00 y de 18h00 a 21h00, con un caudal máximo comprendido entre 68.00 *l/h* a 82.50 *l/h*.

Figura 15

Variación de consumo horario residencial en Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

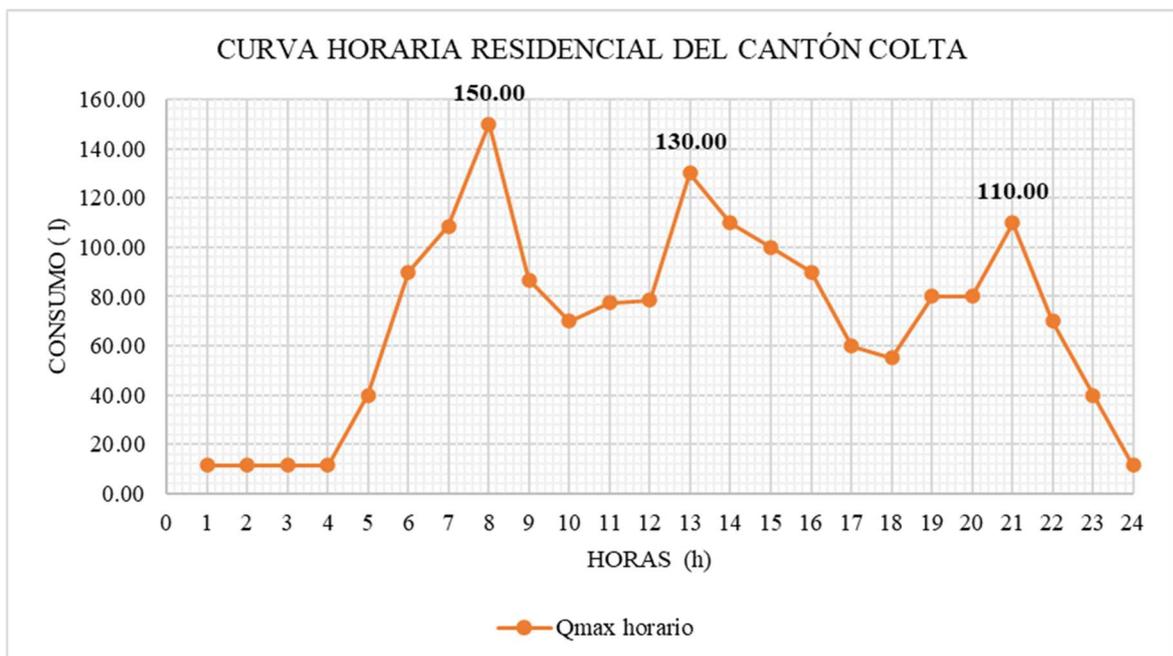
4.2.2. Curva de consumo horario máximos por cantón

En la **Figura 16** se resaltan los consumos horarios máximos de todos los barrios de la cabecera cantonal de Colta comprendidos en las dos redes de distribución, en donde, la hora de mayor consumo es en la mañana a las 8h00 con un caudal máximo de 150 l/h, en la tarde a las 13h00 con un caudal máximo de 130 l/h y en la noche a las 21h00 con un caudal de 110.00 l/h.

De igual manera, en la **Figura 17** se señalan los consumos horarios máximos de la cabecera cantonal de Penipe de todos los barrios a excepción del Buen Samaritano debido a que no cuenta con medidores domiciliarios de agua, en donde, las horas de mayor consumo son en la tarde de 13h00 a 15h00 con un caudal máximo de 85.25 l/h, en la noche a las 21h00 con un caudal máximo de 76.00 l/h y en la mañana a las 8h00 con un caudal de 68.00 l/h.

Figura 16

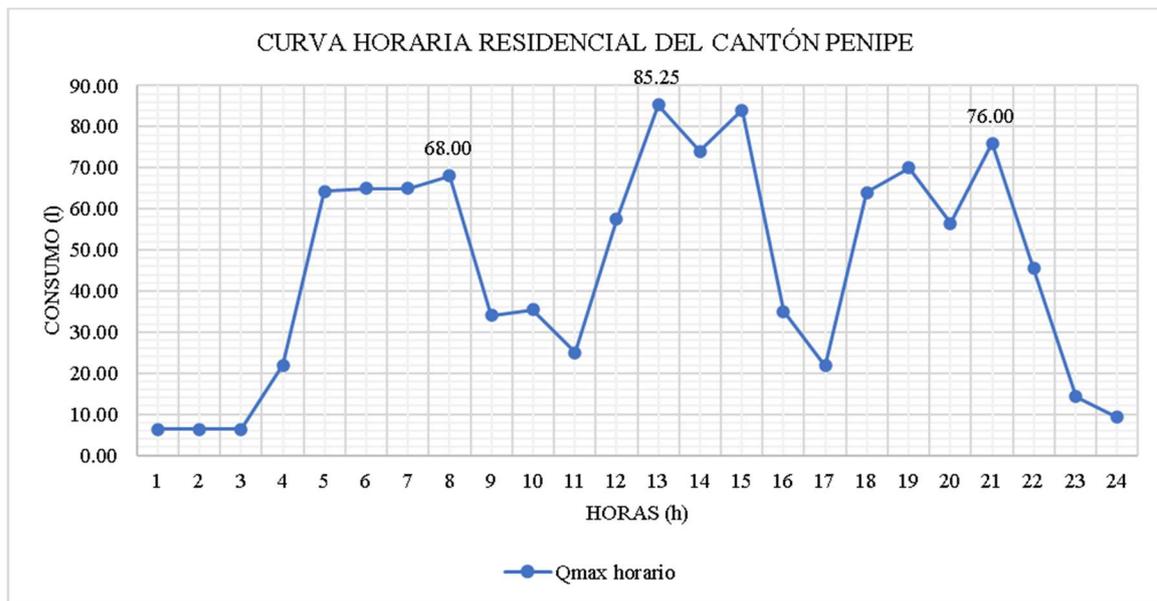
Consumo horario residencial del cantón Colta.



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Figura 17

Consumo horario residencial del cantón Penipe.



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Los patrones de consumo de agua potable que se ha analizado en Colta y Penipe se ven reflejados por los hábitos que tiene los usuarios, por ejemplo, las actividades laborales como la agricultura, ganadería o comercio generan que los habitantes recorran grandes distancias y por ende la movilidad, comodidad y economía son factores que influyen en el consumo del agua potable en horas pico.

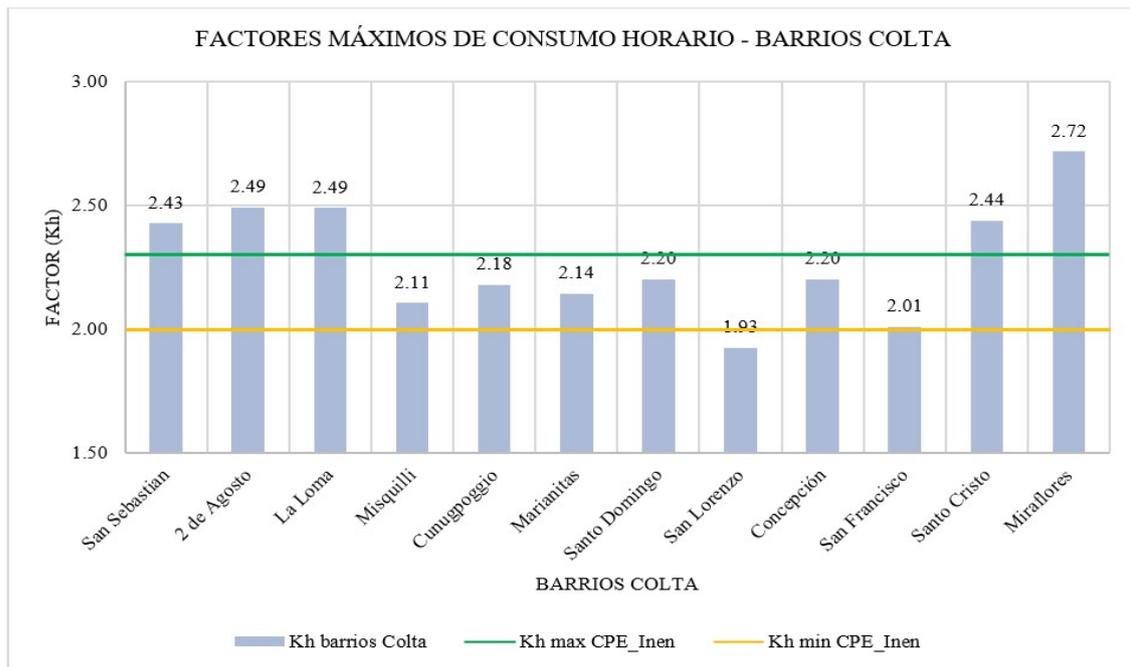
4.2.3. Comparativa de coeficientes máximos de modulación horario de cada barrio vs normativa

También se ha realizado las comparaciones de los coeficientes máximos de modulación horario (Kh_{max}) de cada barrio de Colta y Penipe con el rango de 2.00 a 2.30 que señala la normativa CPE INEN 5 (1992).

En la **Figura 18** se muestra que en Colta solo seis de doce barrios se encuentra dentro del rango de la normativa, sin embargo, para la creación de sistemas de abastecimiento el calculista debe diseñar para el consumo máximo, siendo en este caso el coeficiente $Kh_{max} = 2.72$ del barrio Miraflores, que al estar ubicado en una zona elevada y con una población que se caracteriza por utilizar el agua para consumo doméstico y ganadero, requiere un mayor coeficiente de consumo.

Figura 18

Comparativa (Kh) CPE INEN vs (Kh)max de cada barrio de Colta

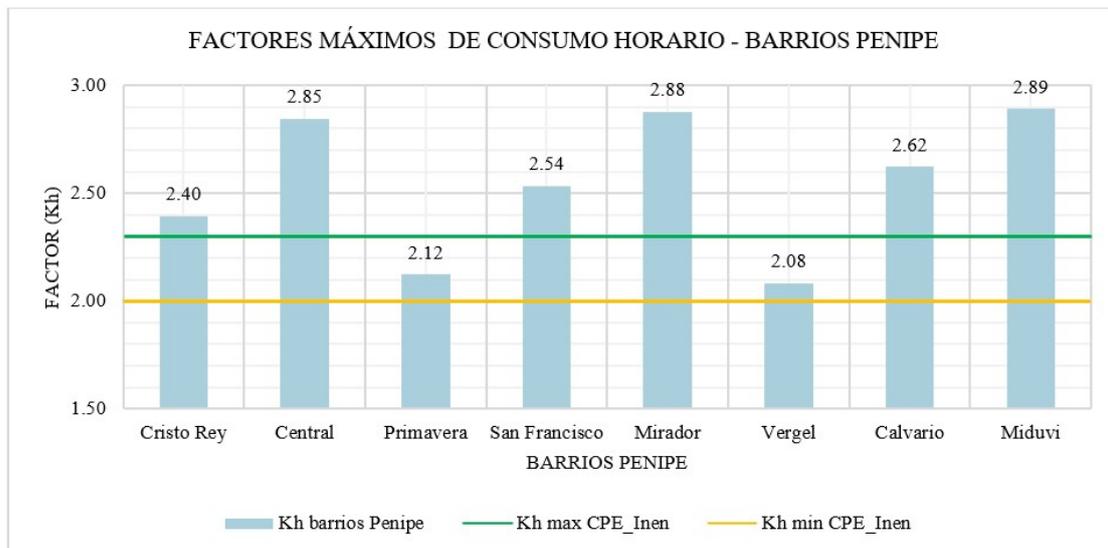


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

En la **Figura 19** se señala que en el caso de Penipe, los barrios Primavera y Vergel se encuentran dentro del rango, sin embargo los barrios Miduvi, Central y Mirador con $Kh = 2.89$ no, debido a que es donde existe mayor consumo de agua, por tanto, la CPE INEN 5 en este caso no abastecería para el diseño de un sistema óptimo.

Figura 19

Comparativa (Kh) CPE INEN vs (Kh) max de cada barrio de Penipe



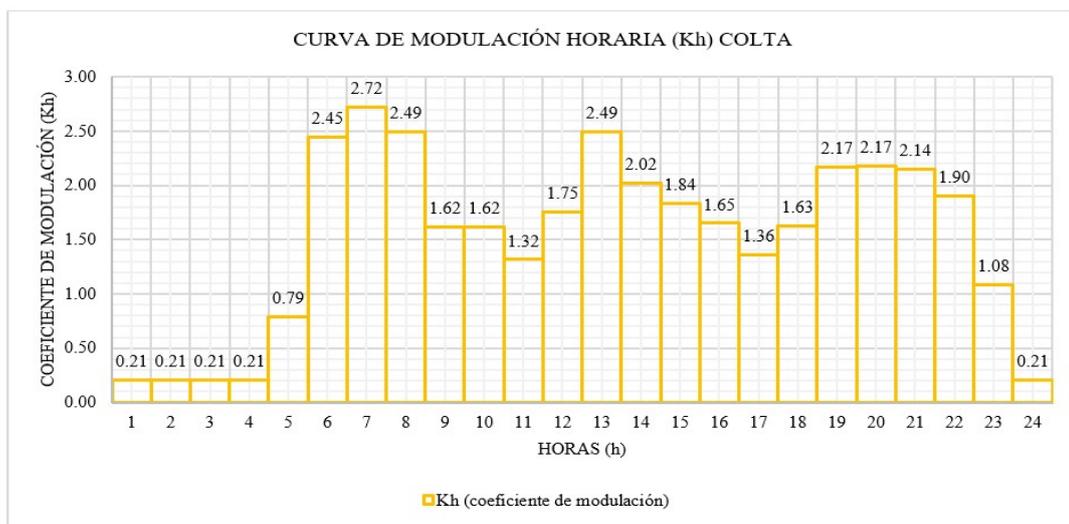
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

4.2.4. Estimación de la curva de modulación horaria

Las **Figura 20** y **Figura 21** representan las curvas de modulación horaria de Colta y Penipe, dado que son importantes para la representación dinámica de modelos matemáticos, ayudando en la simulación del comportamiento real del sistema de agua potable con la finalidad de controlar, calibrar y validar el modelo matemático. Y esto a su vez, permite verificar el funcionamiento óptimo de la red por medio de los criterios de diseño como: velocidad, rugosidad, pérdidas de carga y presiones, en los escenarios más desfavorables de funcionamiento de la red.

Figura 20

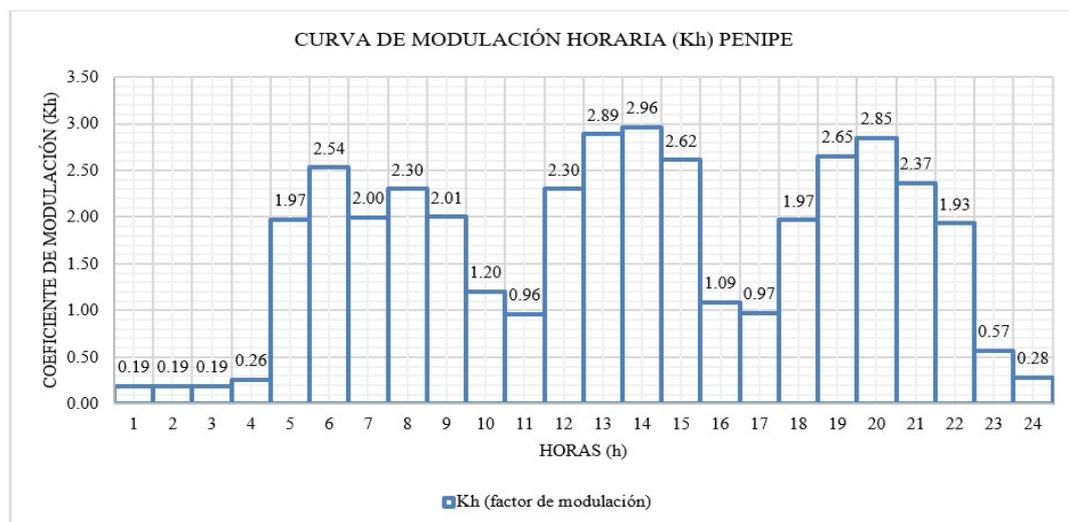
Curva de modulación horaria (Kh) del cantón Colta



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Figura 21

Curva de modulación horaria (Kh) del cantón Penipe



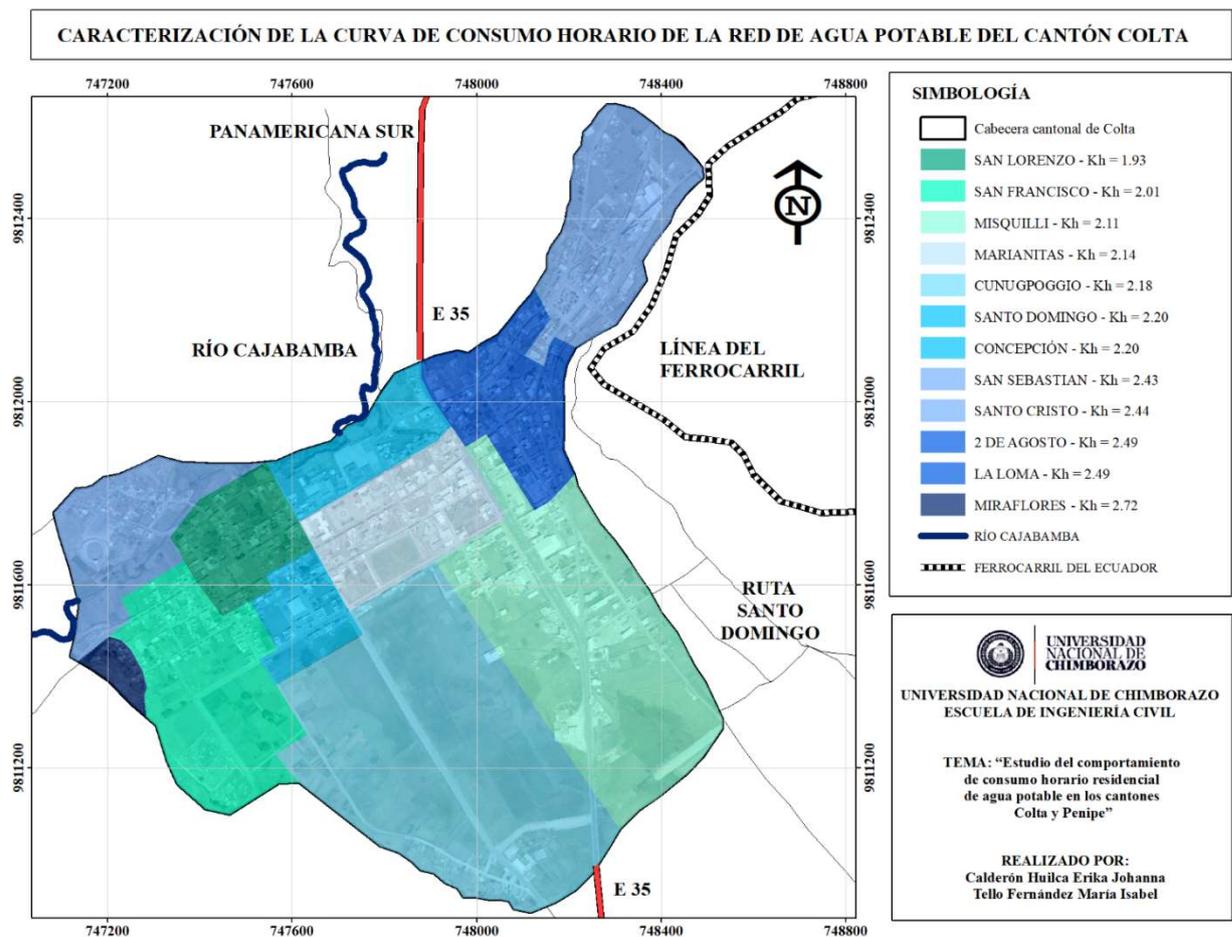
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

4.3. Mapas de la red de abastecimiento

La **Figura 22** representa la caracterización de los consumos horarios de Colta ([véase Anexo 8](#)), en donde la escala muestra los coeficientes de modulación máximos (Kh_{max}) de menor a mayor según la intensidad del color, la escala de color verde indica los barrios de menor consumo como Son Lorenzo, San Francisco, Misquilli, Marianitas, Cunugoggio, Concepción y Santo Domingo, mientras que la escala de color azul muestra los barrios de mayor consumo como San Sebastián, Santo Cristo, La Loma, 2 de Agosto y Miraflores.

Figura 22

Caracterización de la curva de consumo horario residencial de Colta

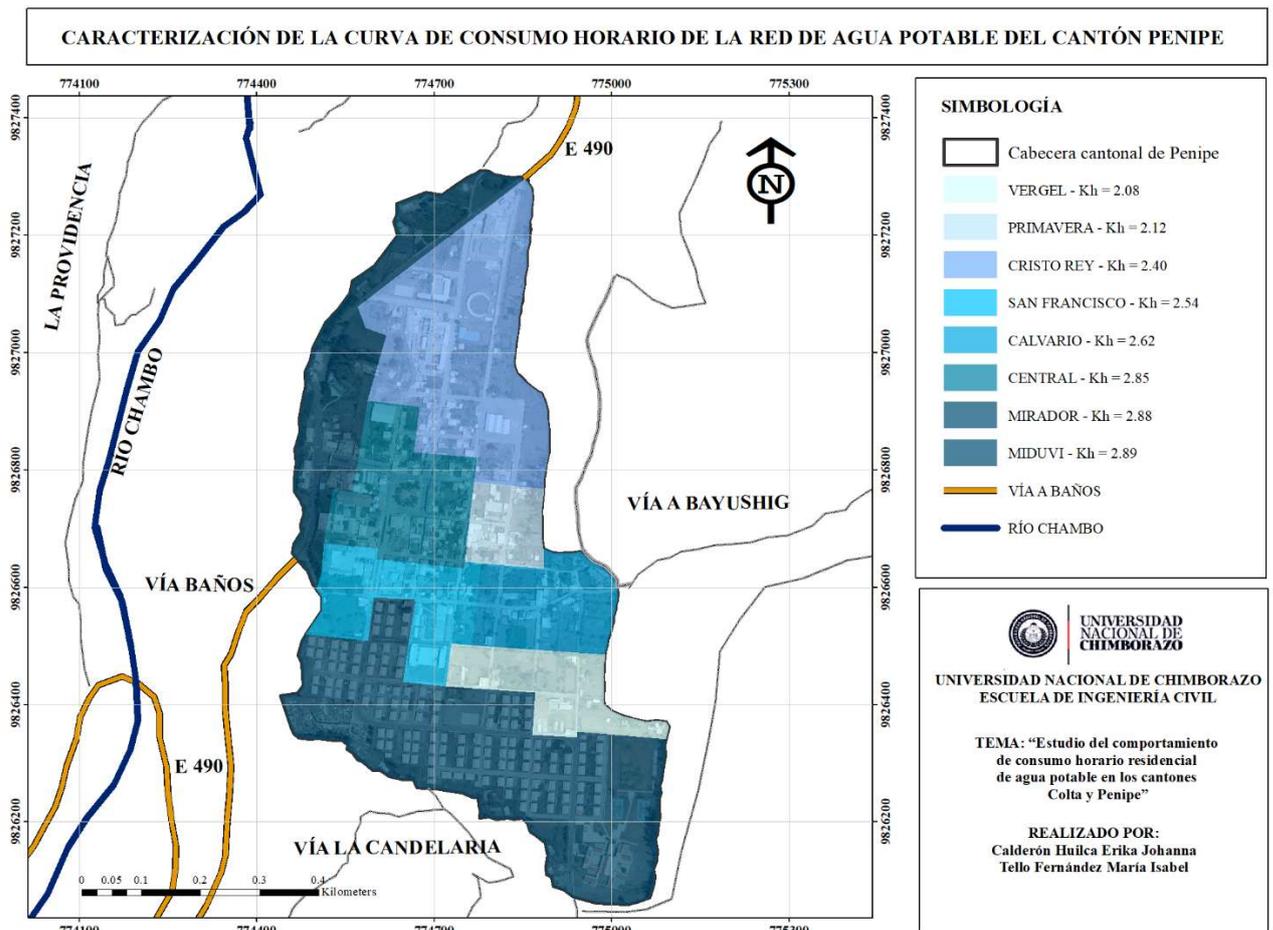


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

La **Figura 23** es el mapa de caracterización de los consumos horarios de Penipe ([véase Anexo 8](#)), en donde la escala azul muestra los coeficientes de modulación máximos (Kh_{max}) de menor a mayor según la intensidad del color.

Figura 23

Caracterización de la curva de consumo horario residencial de Penipe



Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se identificó los factores que influyen en el consumo de agua potable residencial en los cantones Colta y Penipe, resaltándose: la estratificación, número de usuarios, unidades sanitarias, unidades de almacenamiento y nivel de servicio. La caracterización urbanística permitió estratificar las manzanas urbanas de uso residencial, donde el estrato de ingresos menores que el promedio “C” es el predominante en Colta con el 54.84%; y en Penipe el de ingresos mayores que el promedio “B” es del 54.55%, a su vez, se asoció el nivel económico y tipo de vivienda con los hábitos de consumo de agua potable.
- Se ha determinado que el número de usuarios promedio en Colta es de 4.5 *usuarios/vivienda* y en Penipe de 3.5 *usuarios/vivienda*, esto se ve relacionado con el uso de unidades sanitarias y con la tipología de vivienda, dado que si existe un mayor número de unidades sanitarias habrá un mayor consumo de agua potable, pero si hay un mayor número de usuarios el control será más regularizado y menor será el consumo.
- Se ha realizado el análisis de unidades de almacenamiento instaladas con el fin de descartar las viviendas que cuenten con cisternas o tanques elevados debido a que el gasto que se registra en los medidores no refleja la realidad del consumo. Además, si el análisis se realiza en viviendas con el servicio permanente y unidades de almacenamiento, el coeficiente de modulación horario (Kh) será bajo.
- La calidad del agua y el nivel socioeconómico influyen en el tipo de demanda del suministro, ya sea para consumo humano o de uso general. Esto se ve reflejado en las curvas de consumo en Colta y Penipe dado que el 62% de los usuarios considera que la calidad es regular.
- Las curvas horarias de demanda de agua potable señalan las horas pico y el consumo máximo que se relacionan con las actividades laborales y domésticas que los usuarios realizan diariamente, según el estudio realizado en 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 $Q_{max} = 68.00 \text{ l/h}$.
- Mediante la digitalización de los coeficientes de modulación horario (Kh) a través de la sectorización de los barrios de Colta y Penipe se ha logrado identificar las zonas de mayor y menor consumo de agua, esto debería ser tomado como referencia por los diseñadores para que se pueda evitar un sobre o subdimensionamiento en las proyecciones del sistema de agua potable.
- Los coeficientes de modulación horario máximos en Colta de $Kh_{max} = 2.72$ y Penipe de $Kh_{max} = 2.89$ son valores que reflejan la realidad de las poblaciones en estudio, sobrepasando el rango de la CPE INEN 5 (1992) de 2.00 a 2.30. De tal

manera que los coeficientes establecidos por la normativa no son óptimos para el diseño de los sistemas de abastecimiento en estos cantones, por ende se recomienda utilizar los obtenidos en esta investigación.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar este estudio para al resto de cantones de la provincia y del país con el fin de realizar análisis comparativos con los resultados obtenidos.
- Debido al tiempo que se requiere para el estudio se recomienda contar un equipo de trabajo capacitado, de manera que el estudio sea amplio, ágil y rápido.
- En la etapa de obtención de datos en campo se ha podido observar que varios medidores de agua no se encuentran en buen estado, presentan fugas, no están limpios o no están bien calibrados, por lo que se sugiere a la empresa administradora de agua que implemente un mantenimiento periódico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Tzatchkov, V. G., & Arreguin-Cortes, F. I. (2012). Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos. *Water Resources Management*, 26(7), 1779–1792. <https://doi.org/10.1007/S11269-012-9979-2>
- 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*. *Consumo y dotación de agua potable en localidades ecuatorianas de menos de 150 000 habitantes*. https://www.researchgate.net/publication/326408947_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_inhabitant
- Arellano, A., Gónzales, J., & Gavilanes, V. (2012). *Método de caracterización urbanística y socioeconómica para poblaciones menores que 150.000 habitantes*. https://www.researchgate.net/publication/343267087_METODO_DE_CARACTERIZACION_URBANISTICA_Y_SOCIOECONOMICA_PARA_POBLACIONES_MENORES_QUE_150000_HABITANTES_AUTORES
- Arellano, A., Izurieta, C., Bravo, C., Merino, A., & Yépez, D. (2019). Desperdicio de agua a través del equipo sanitario. *Novasinergia*, ISSN 2631-2654, 2(2), 68–74. <https://doi.org/10.37135/UNACH.NS.001.04.07>
- Arellano, A., & Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *Novasinergia*, 2, 15–23. https://www.researchgate.net/publication/333651587_Efectos_de_la_gestion_y_la_calidad_del_agua_potable_en_el_consumo_del_agua_embotellada_Effects_of_water_quality_and_management_on_bottled_water_consumption
- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *NovaSinergia*, 3, 27–36. <https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/144/158>
- Borja S., M. (2012). *Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil*. https://www.academia.edu/33692697/Metodología_de_Investigación_Científica_para_ingeniería_Civil
- Cabrera, M. (2016). *4. LA GESTIÓN AVANZADA DEL PARQUE DE CONTADORES - PDF Free Download*.
- Caiza, Á. (2019). *Caracterización de la curva de consumo diario de la red de agua potable del sector Santa Rosa del cantón Ambato*. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29626/1/Tesis I. C. 1313 - Caiza Chiliquinga Angel Santiago.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29626/1/Tesis_I._C._1313_-_Caiza_Chiliquinga_Angel_Santiago.pdf)
- 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*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9-1.pdf
- Diario Responsable. (2021). *Una de cada cuatro personas en todo el mundo no tiene acceso al agua potable - Diario Responsable*. <https://diarioresponsable.com/noticias/31444-una-de-cada-cuatro-personas-en-todo-el-mundo-no-tiene-acceso-al-agua-potable>
- Estrada, H. (2019). *Diseño del sistema de agua potable de la parroquia el Rosario, del cantón Guano, provincia de Chimborazo (Ecuador)* [Universitat Politècnica de València]. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/120454/DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/120454/DISEÑO_DEL_SISTEMA_DE_AGUA_POTABLE.pdf?sequence=1)

- Fernández, A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. 11, 147–170. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Huaquisto, 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>
- Ramos Joseph, M., Socarrás Ordaz, R., & León Méndez, A. J. (2019). *Patrones de consumo doméstico de agua: primer resultado en la Empresa Aguas de La Habana*. 40. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000100003#B5
- Sities Google. (2010). *Cantones de la Provincia de Chimborazo*.
- Tipán Jinde, J. C. (2017). *Estudio del consumo de agua potable en sectores residenciales de la zona centro de la ciudad de Ambato y su incidencia en la curva de consumo diario* [Universidad Técnica de Ambato]. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26837/1/Tesis 1181 - Tipán Jinde Julio César.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26837/1/Tesis%201181%20-%20Tip%C3%A1n%20Jinde%20Julio%20C%C3%A9sar.pdf)
- Tzatchkov, V. G., & Alcocer-Yamanak, V. H. (2016). *Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos*. VII(3), 115–133. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n3/2007-2422-tca-7-03-00115.pdf>
- Usua L., E. L. (2021). Determinación de los coeficientes de variación de consumo horario y diario de agua potable en la ciudad de Huaraz 2018 [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. En *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4487>

7. ANEXOS

Anexo 1

Encuesta aplicada.

Encuesta de consumo horario de agua potable en Penipe

1. INFORMACIÓN DEL PREDIO

1.1. UBICACIÓN

Barrio / Sector

1.2 TIPO DE VIVIENDA

Residencial Familiar

Residencial Bifamiliar

+2 Familias

Tipo

1.3 DIMENSIÓN DEL PREDIO

1

2

3

4

5

> 5

Número de pisos

Número de departamentos

1.4. USUARIOS DEL PREDIO

1

2

3

4

5

6

7

8

9

> 10

Mañana

Tarde

Noche

2. SERVICIO DE AGUA POTABLE

2.1 UNIDADES SANITARIAS/USO

- Inodoro
- Lavamanos
- Bidet
- Ducha
- Grifo
- Lavaplatos
- Lavadora
- Tanque de lavado
- Piscina
- Hidromasaje
- Jardín
- Lavado de carro

2.2 RESERVA

Elevado

Cisterna

Ninguno

Tanque

3. NIVEL DE SERVICIO

3.1.SERVICIO

Permanente

de 2 a 3 veces al día

1 vez al día

Dotación de agua

3.2 CANTIDAD

Suficiente

Insuficiente

Cantidad de agua

3.3 CALIDAD

Excelente

Buena

Regular

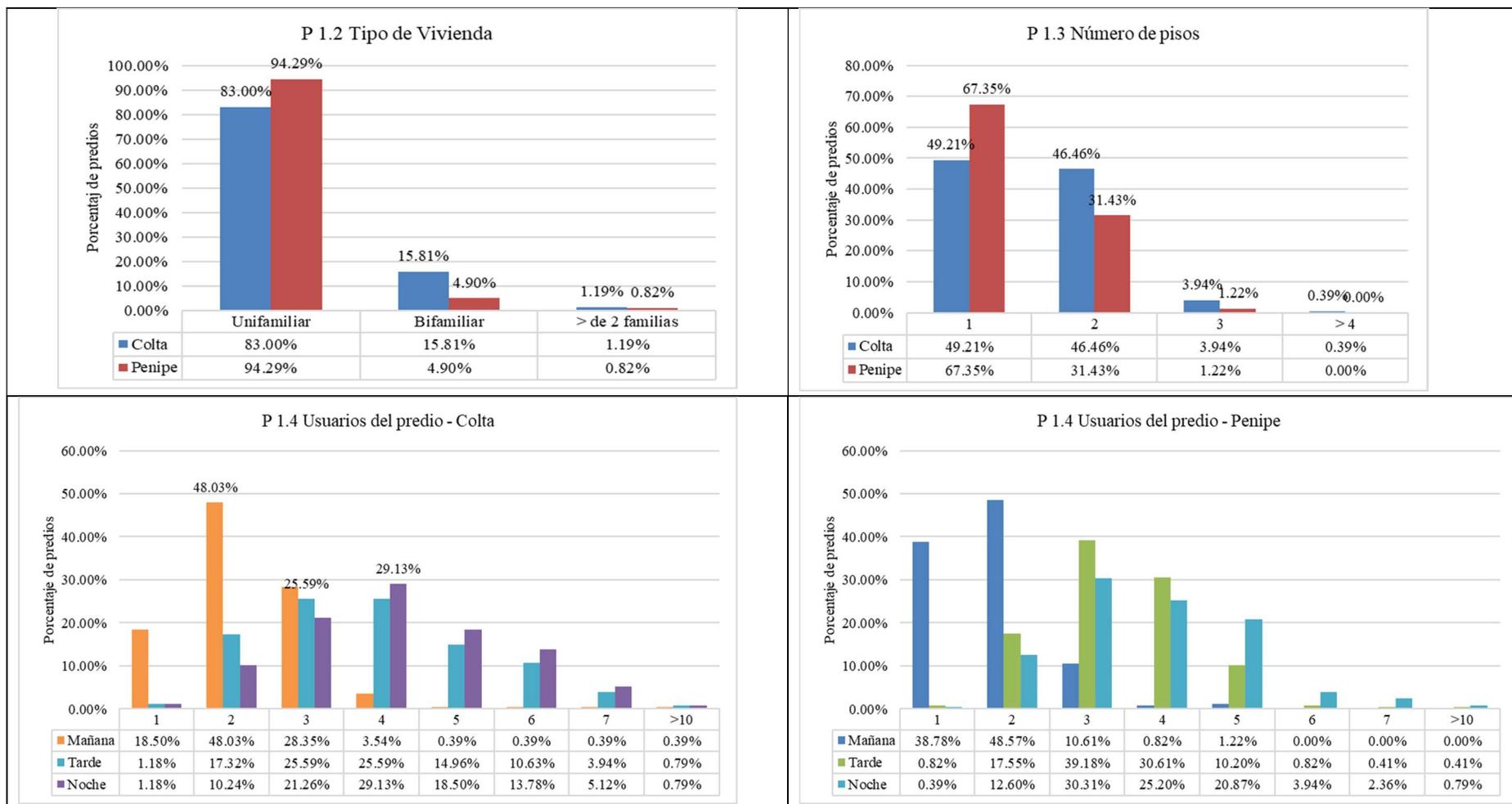
Mala

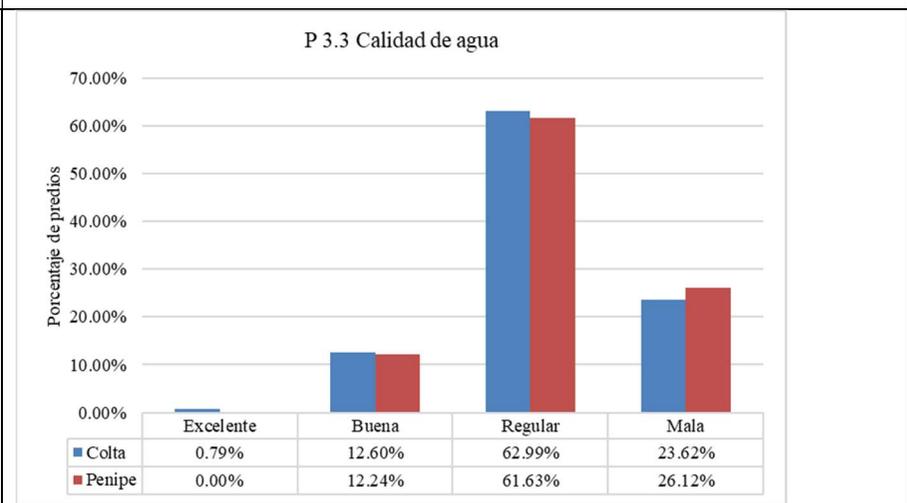
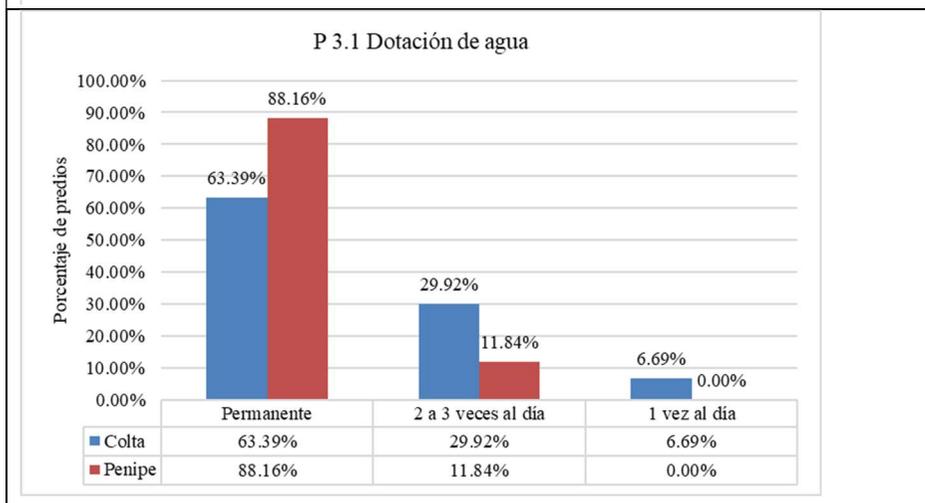
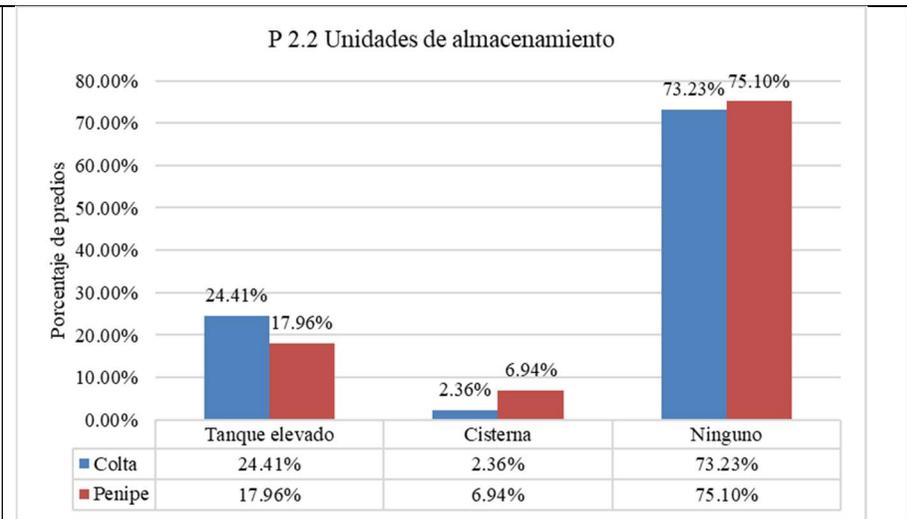
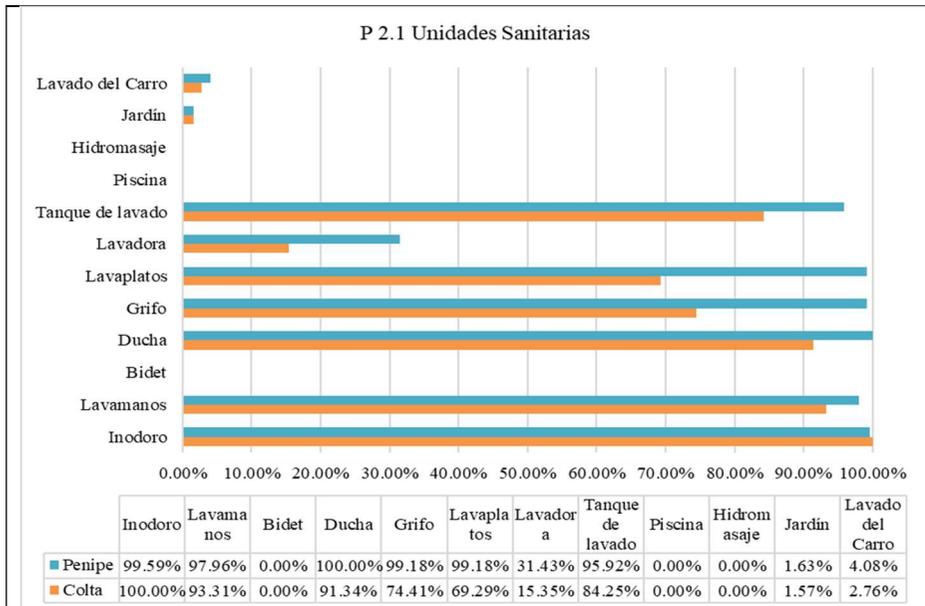
Calidad de agua

Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 2

Resultados de la encuesta.





Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 3

Etiqueta.

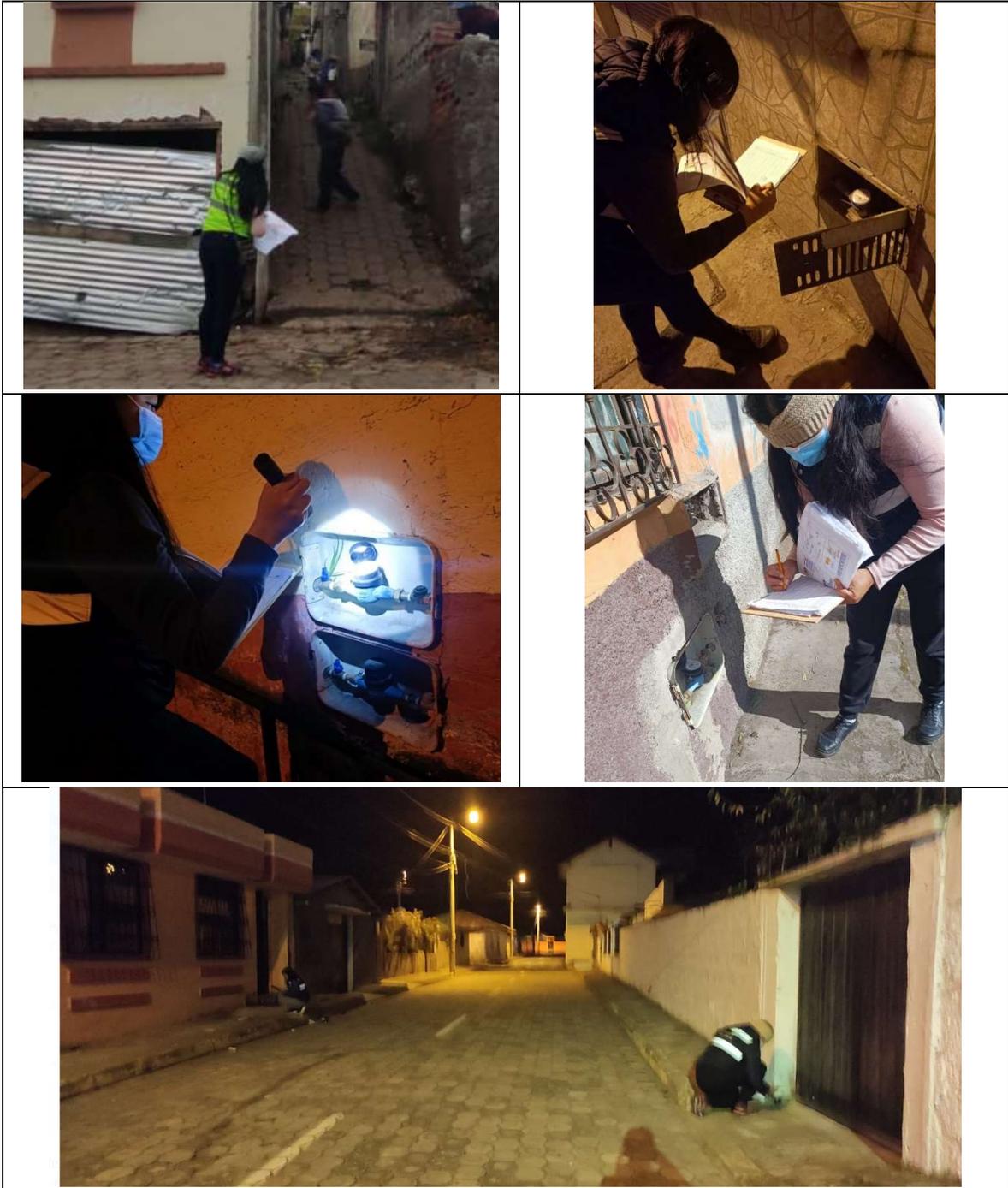


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 4

Lectura en campo.

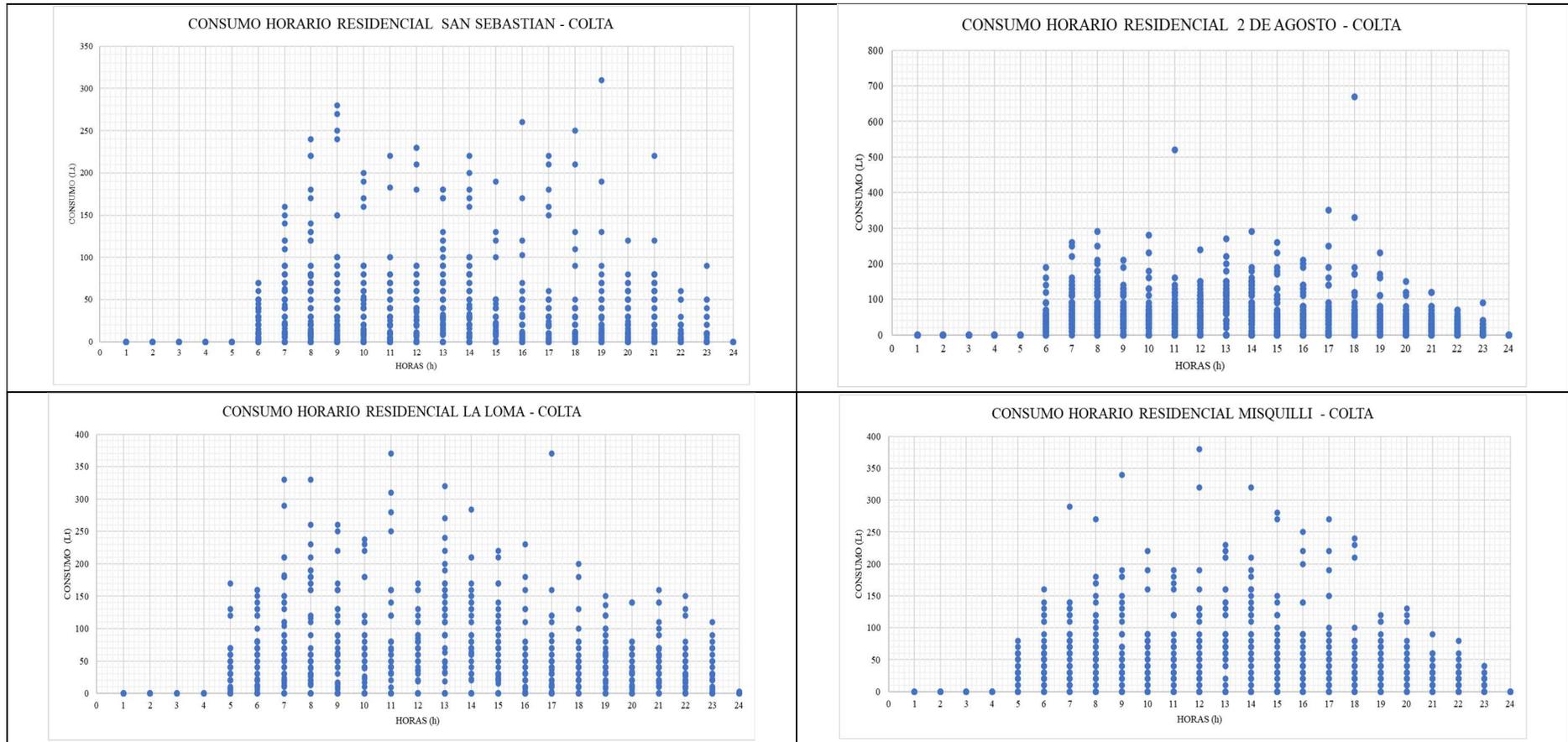




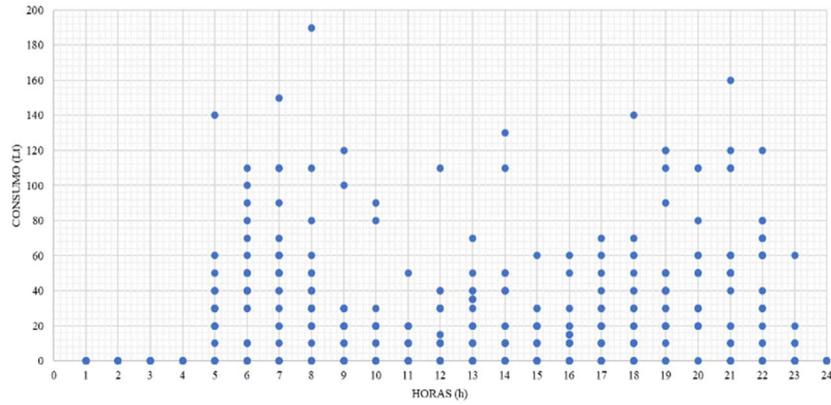
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 5

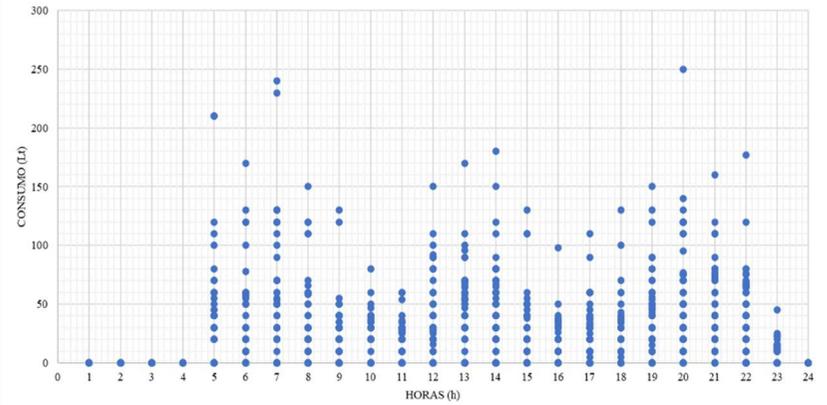
Curvas de datos iniciales de los barrios de Colta y Penipe.



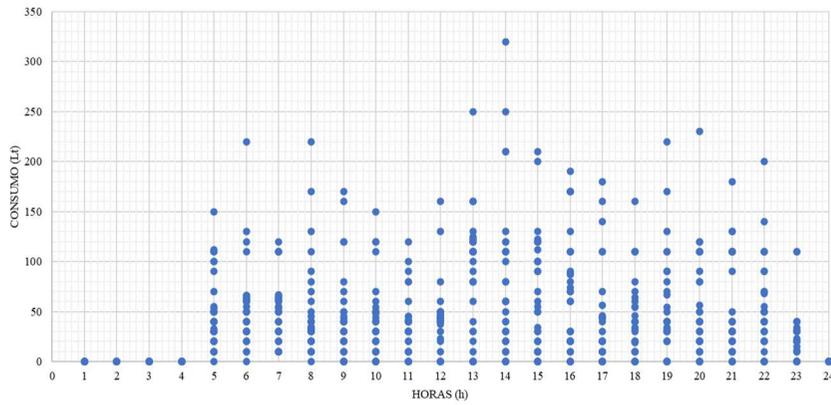
CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL CUNUGPOGGIO - COLTA



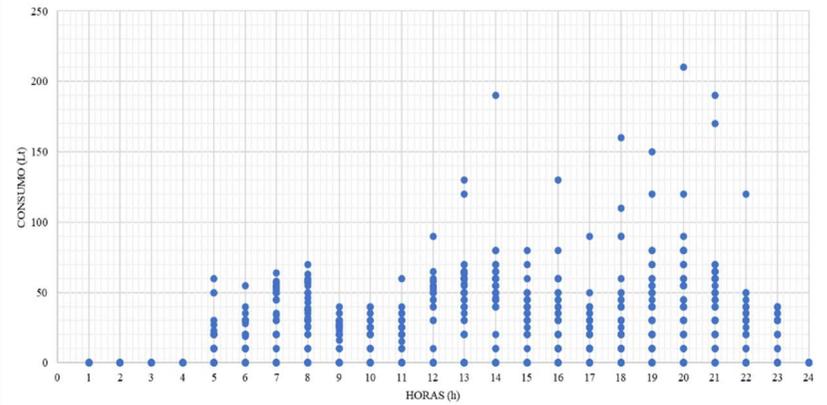
CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL MARIANITAS- COLTA

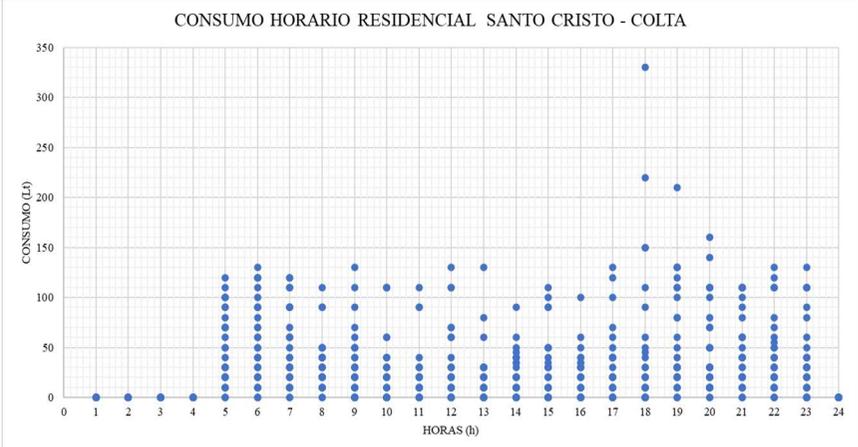
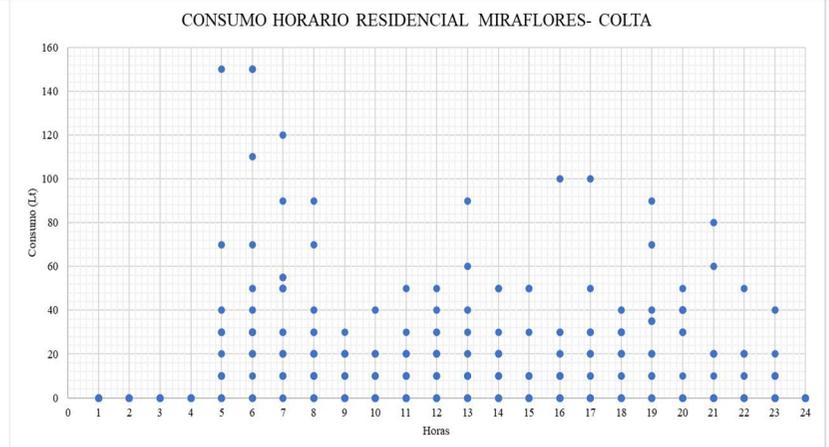
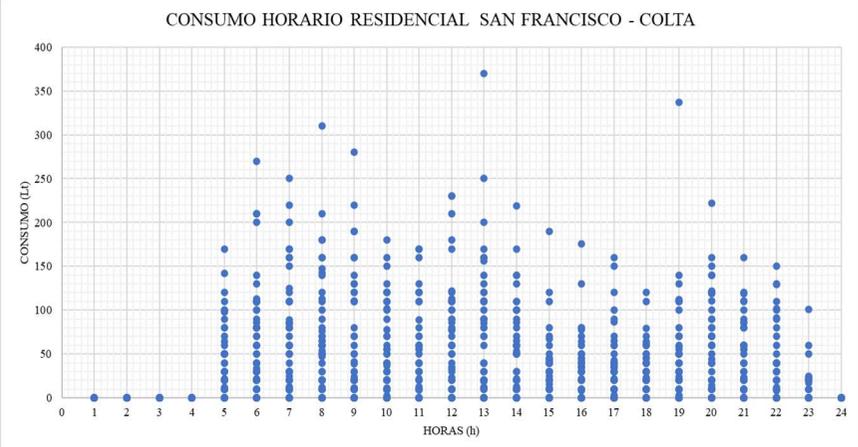
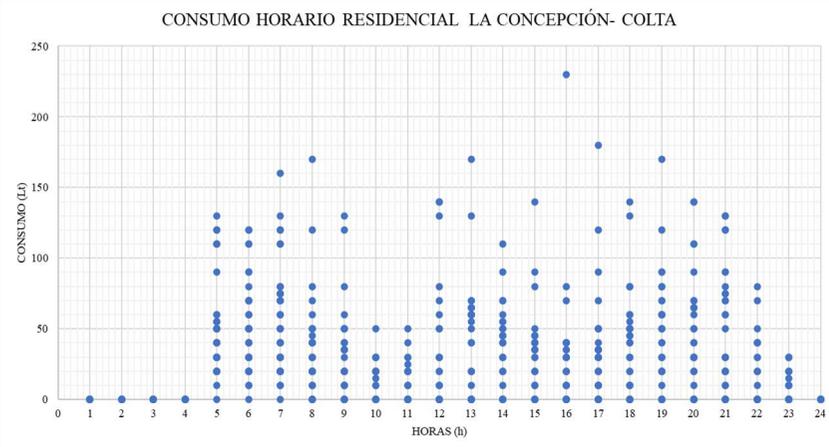


CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL SANTO DOMINGO - COLTA



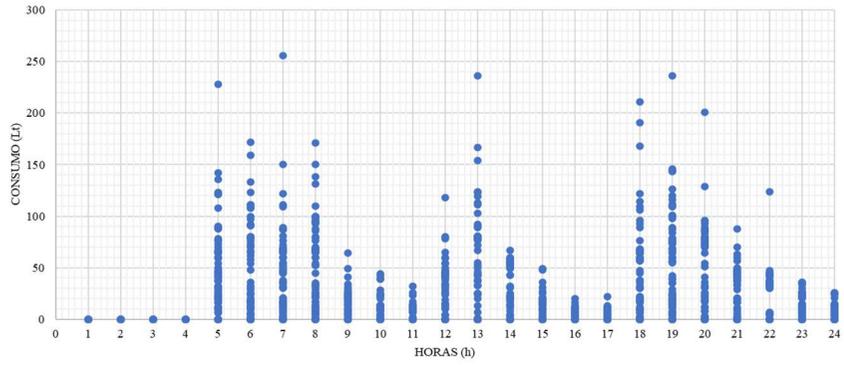
CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL SAN LORENZO - COLTA



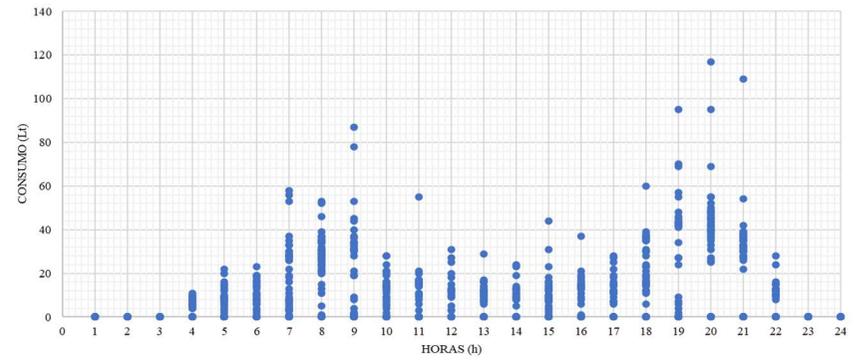


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

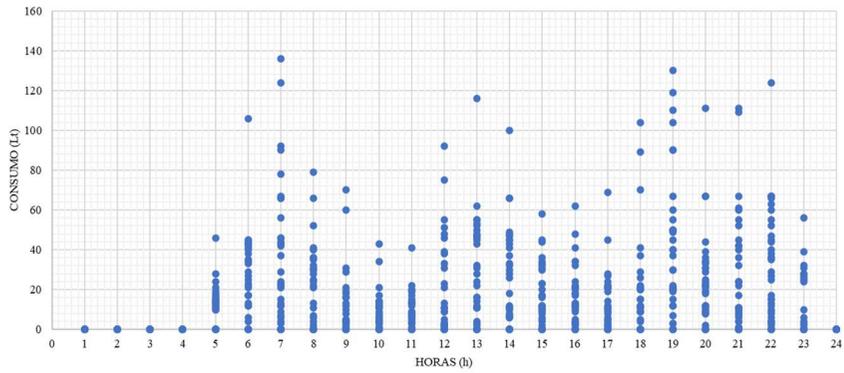
CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL CRISTO REY - PENIPE



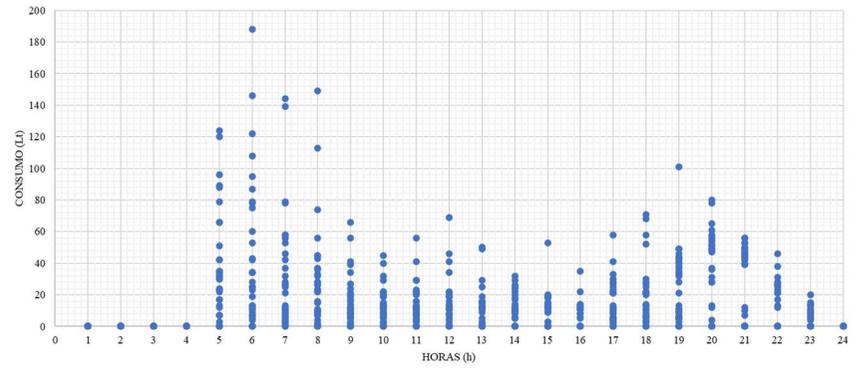
CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL CENTRAL - PENIPE

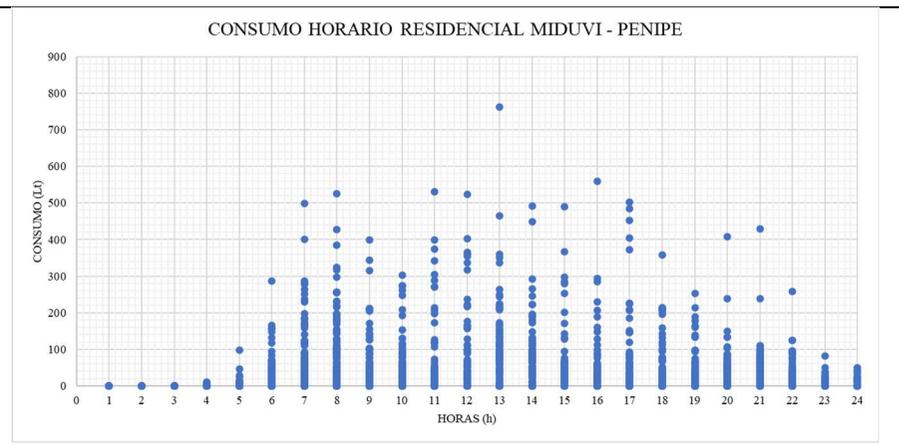
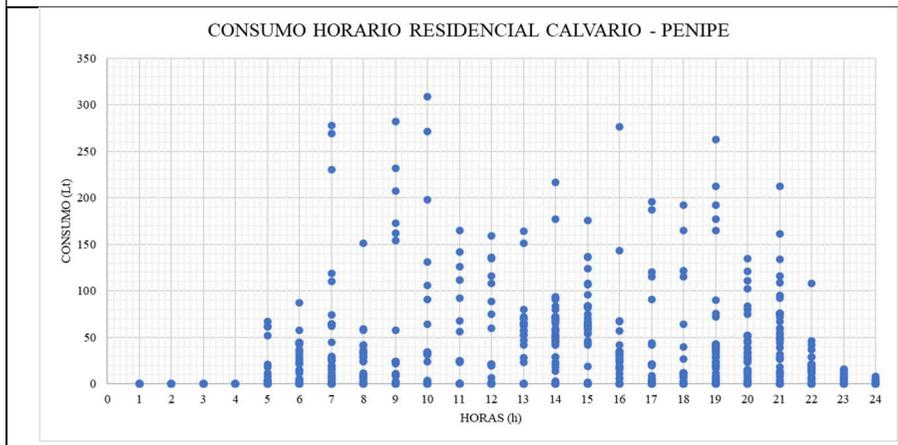
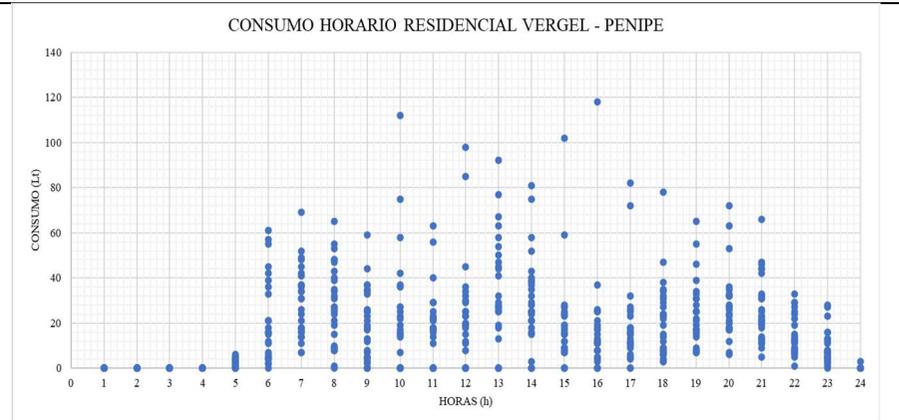
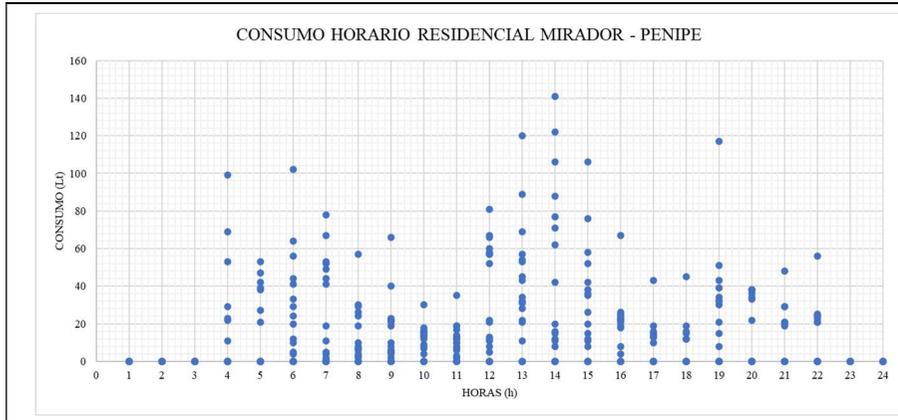


CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL PRIMAVERA - PENIPE



CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL SAN FRANCISCO - PENIPE

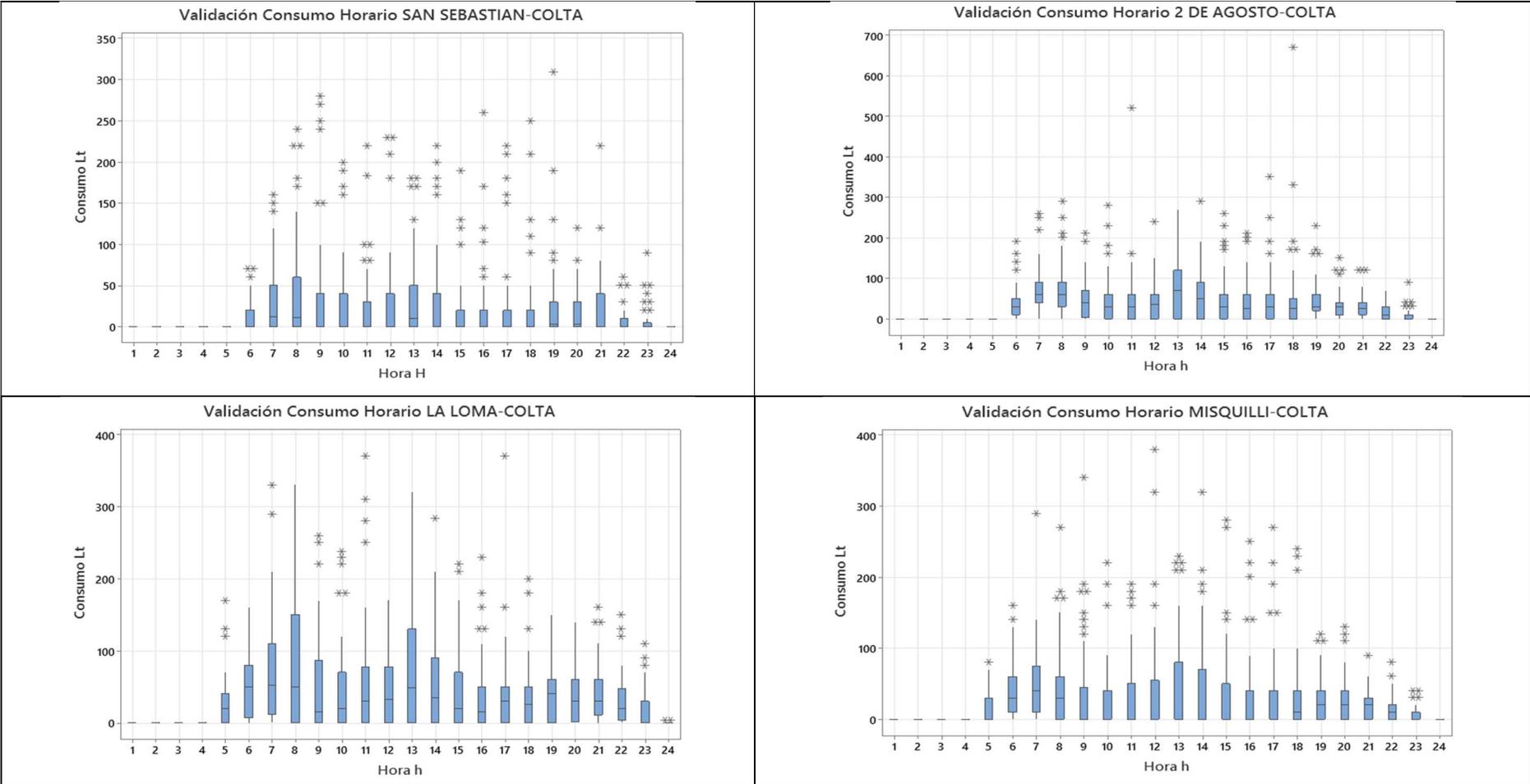


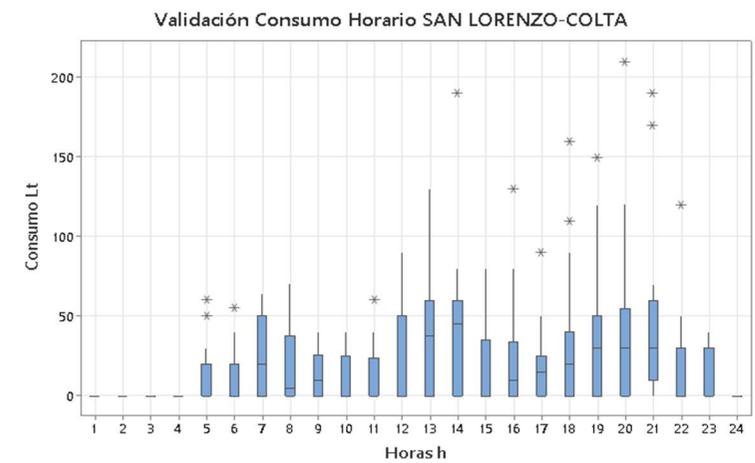
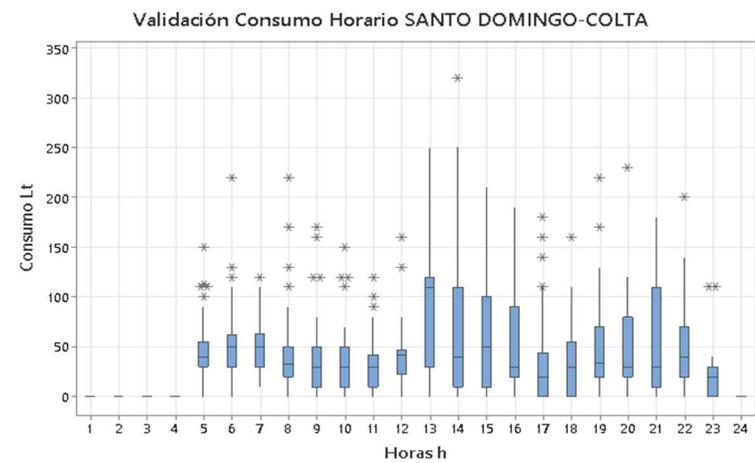
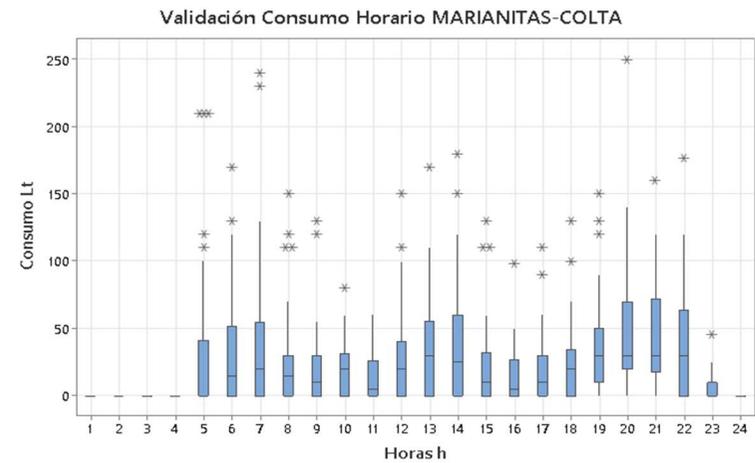
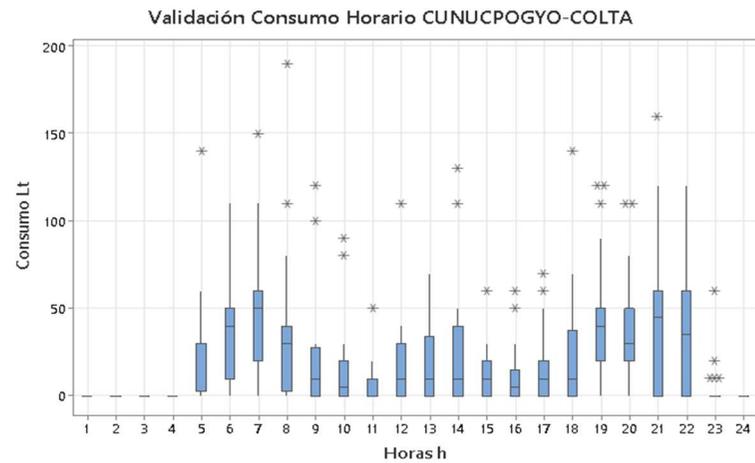


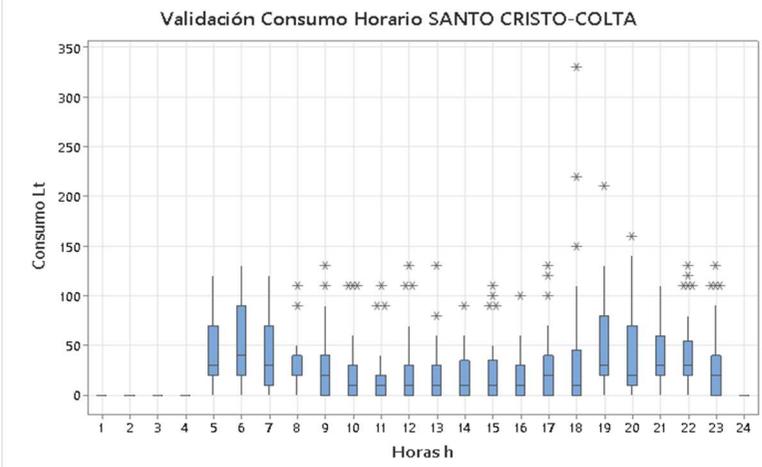
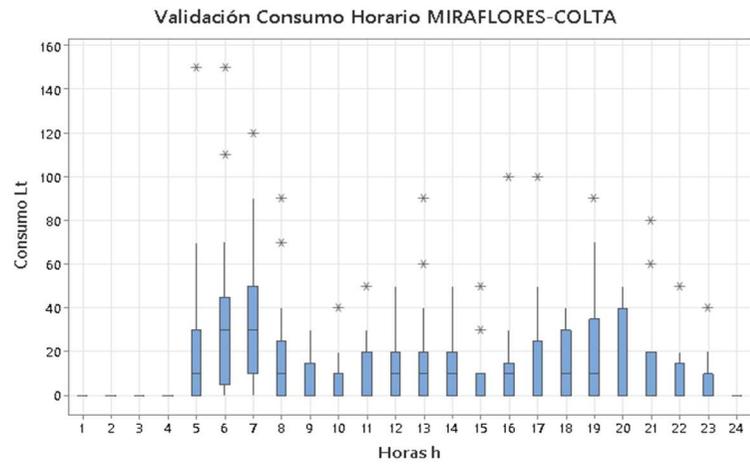
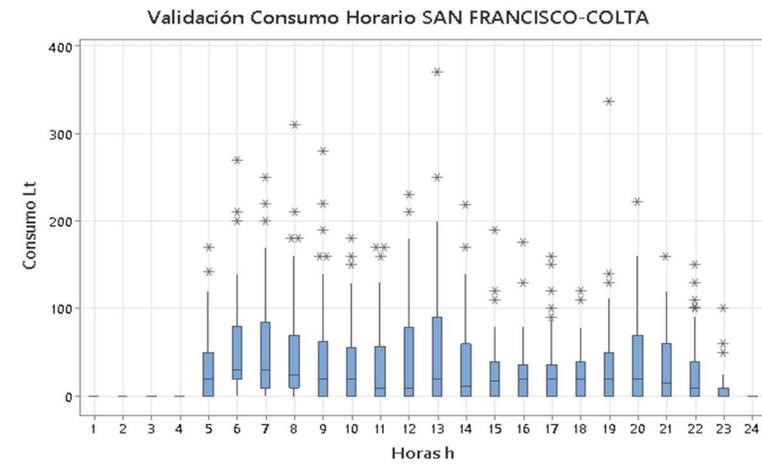
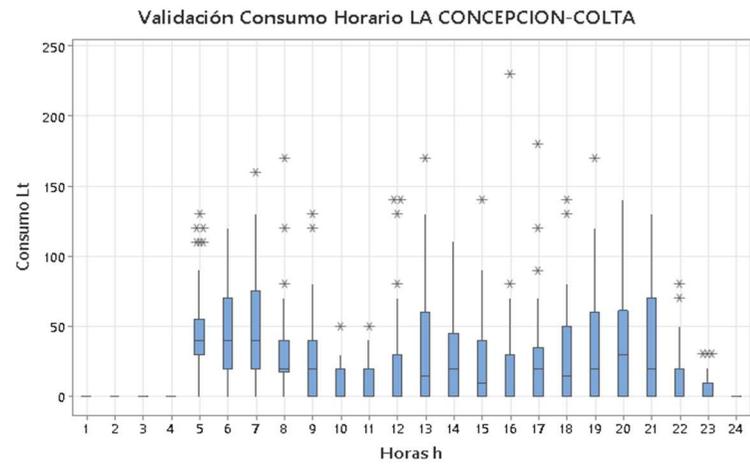
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 6

Diagrama de cajas de bigotes de los barrios de Colta y Penipe.

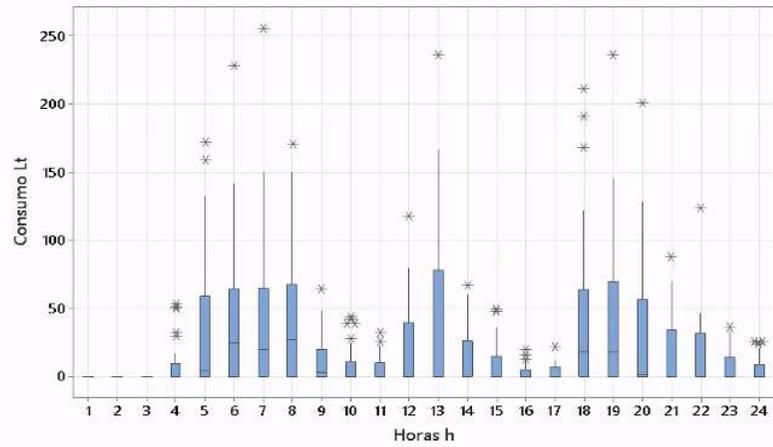




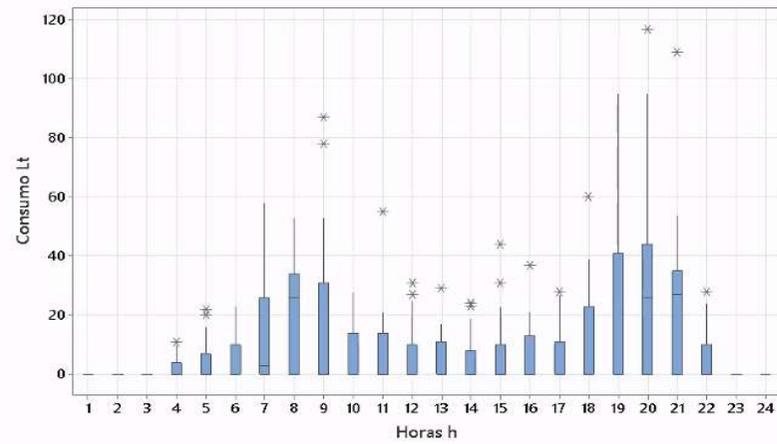


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

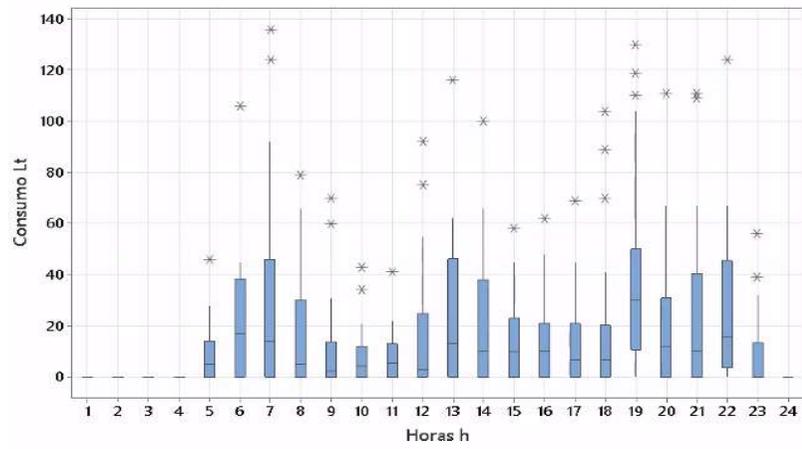
Validación Consumo Horario CRISTO REY-PENIPE



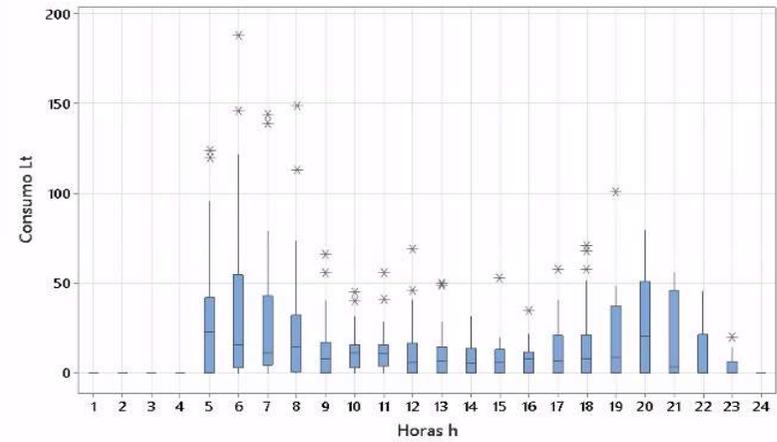
Validación Consumo Horario CENTRAL-PENIPE

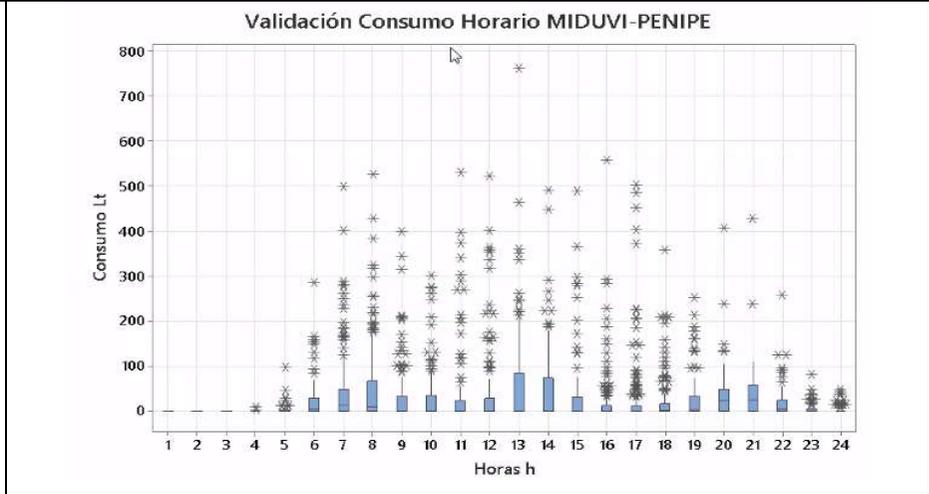
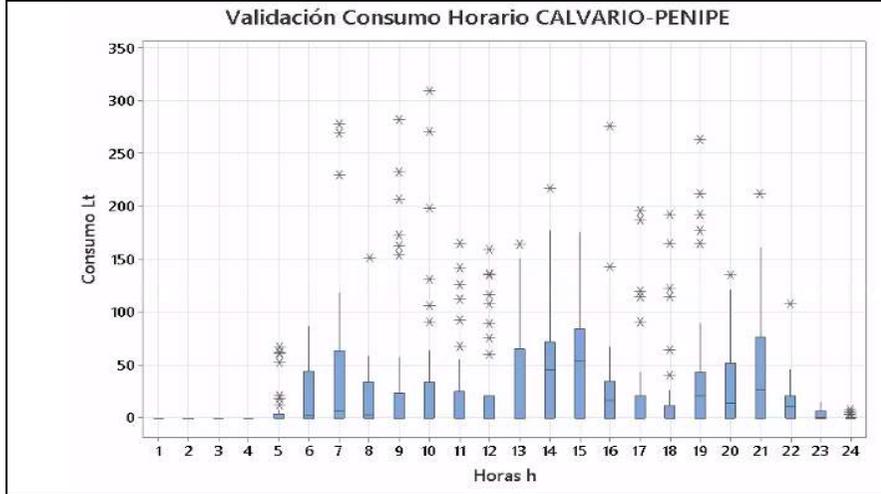
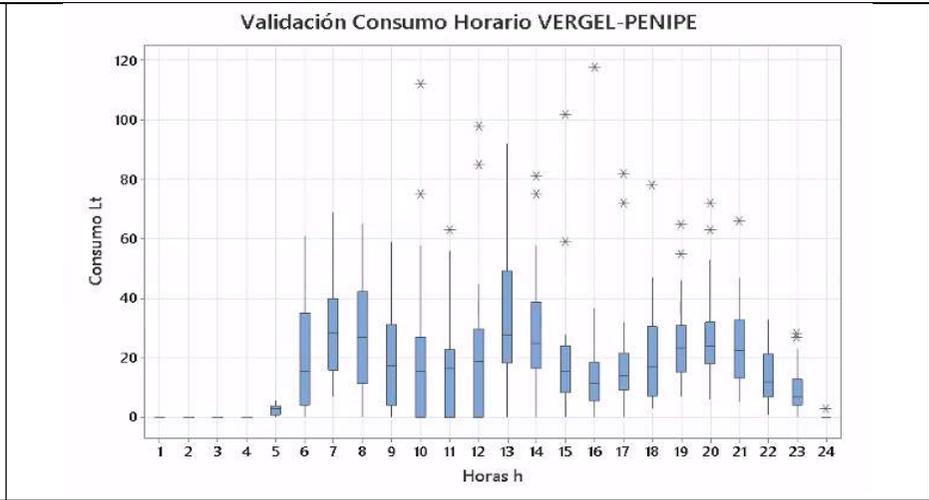
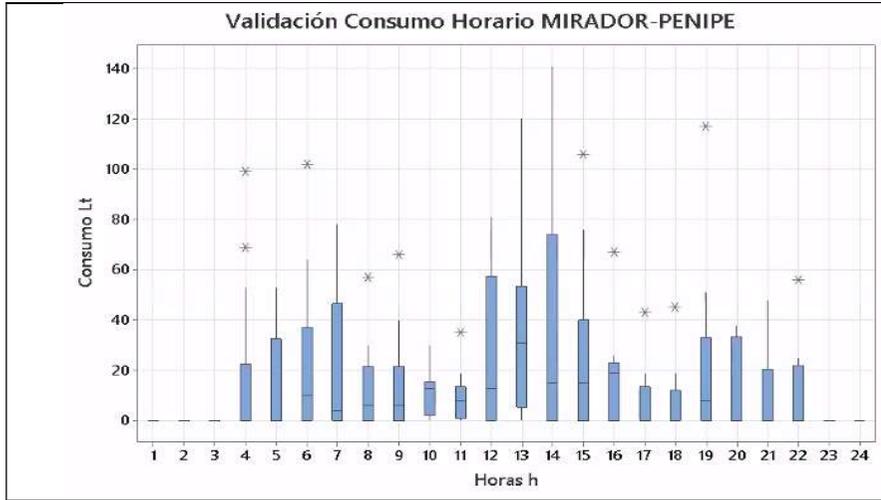


Validación Consumo Horario PRIMAVERA-PENIPE



Validación Consumo Horario SAN FRANCISCO-PENIPE

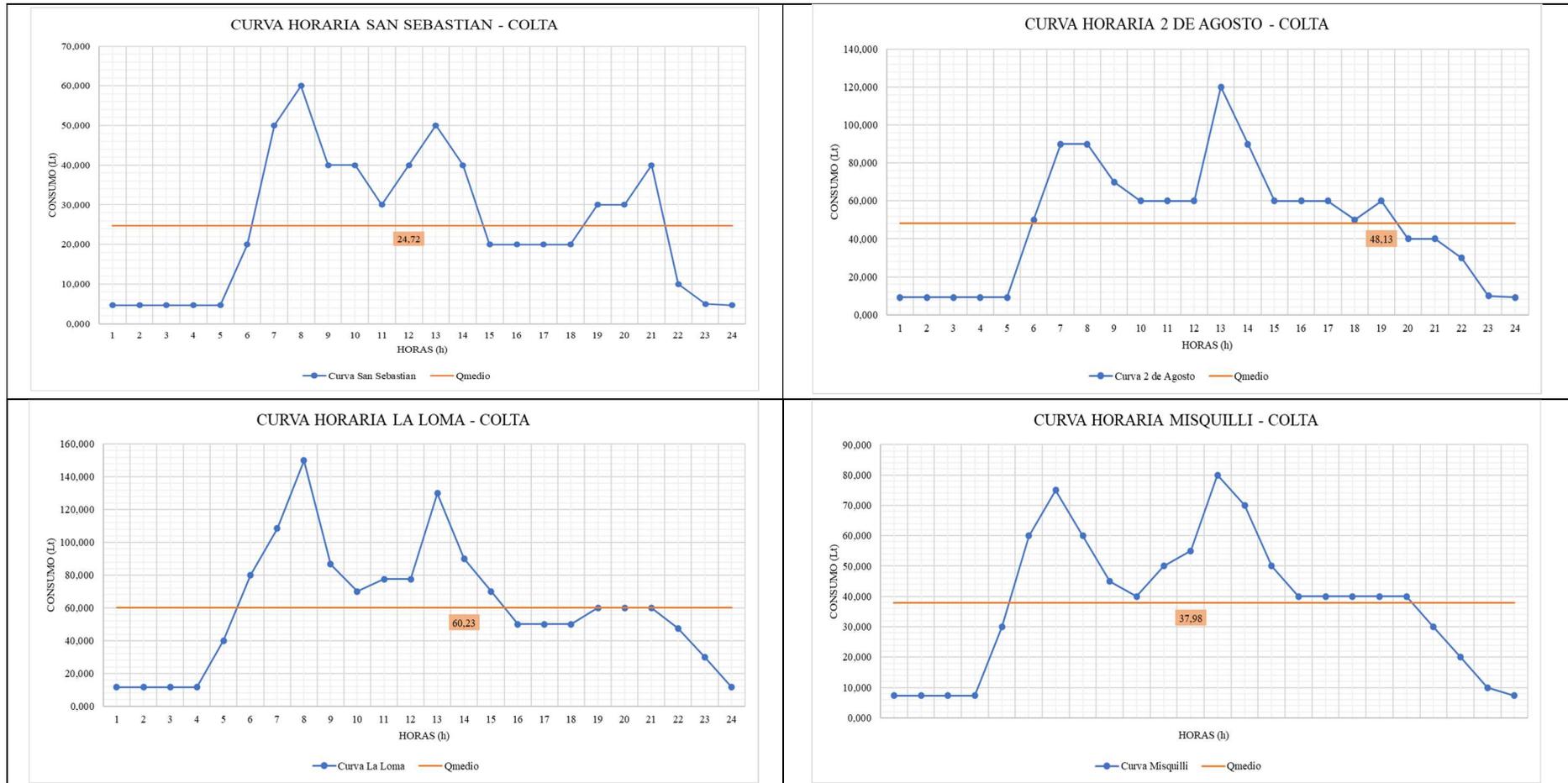


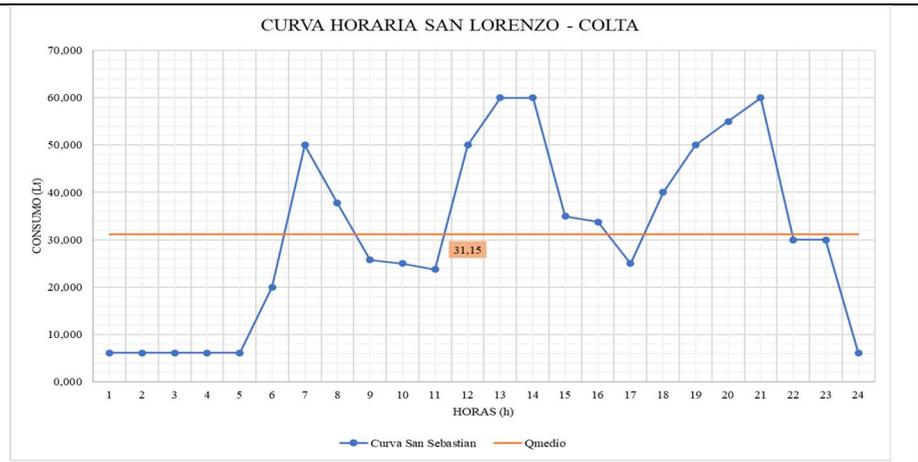
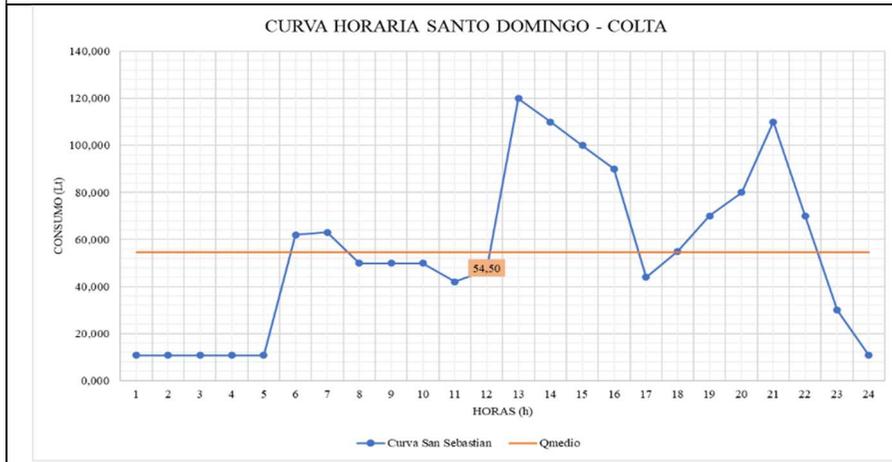
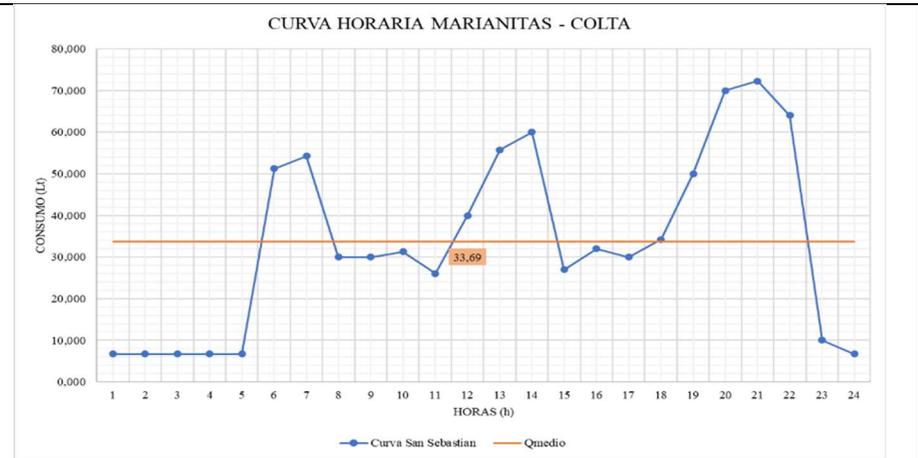
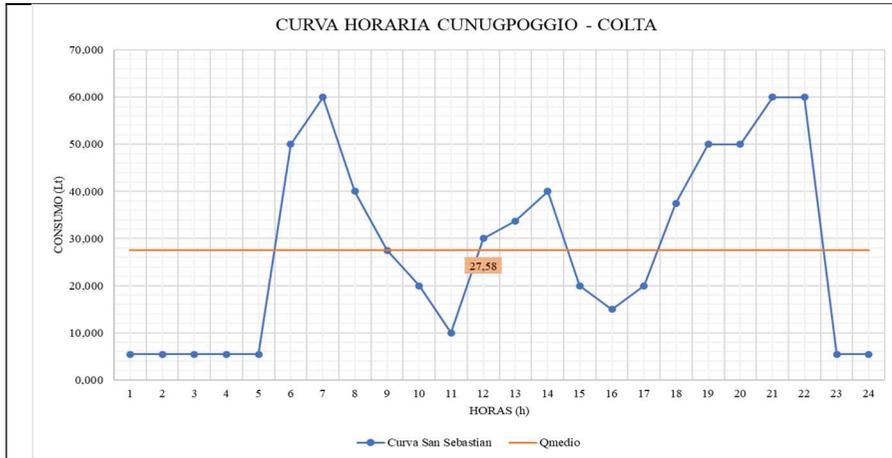


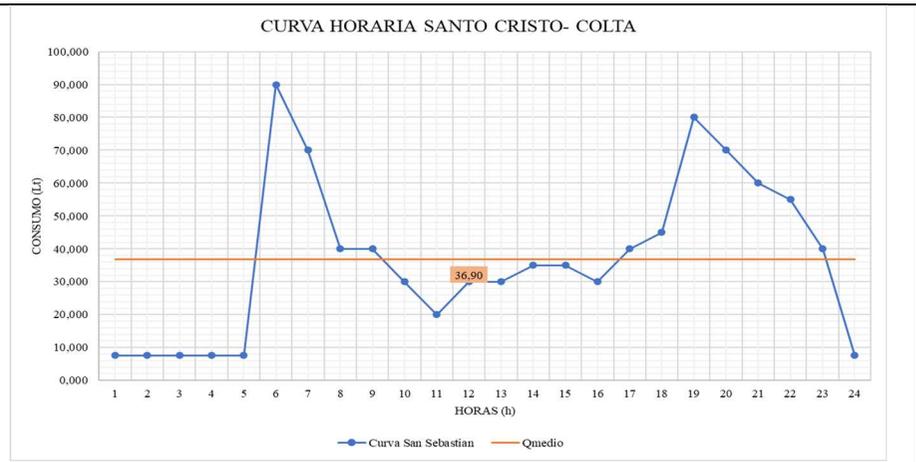
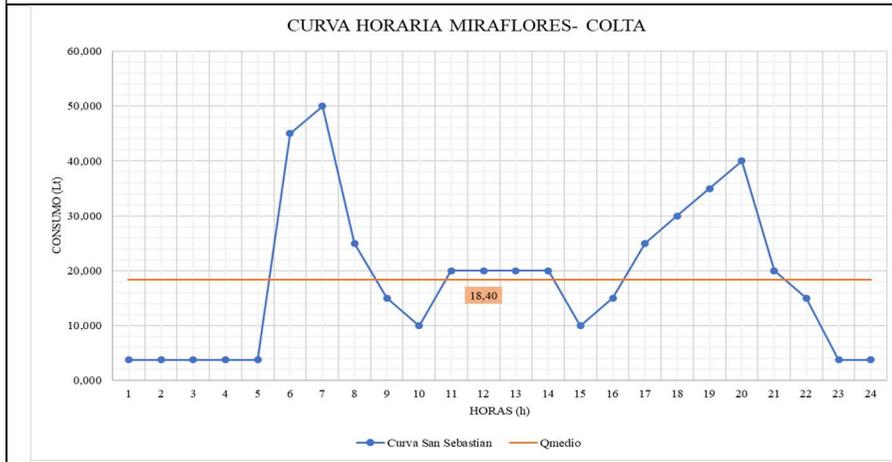
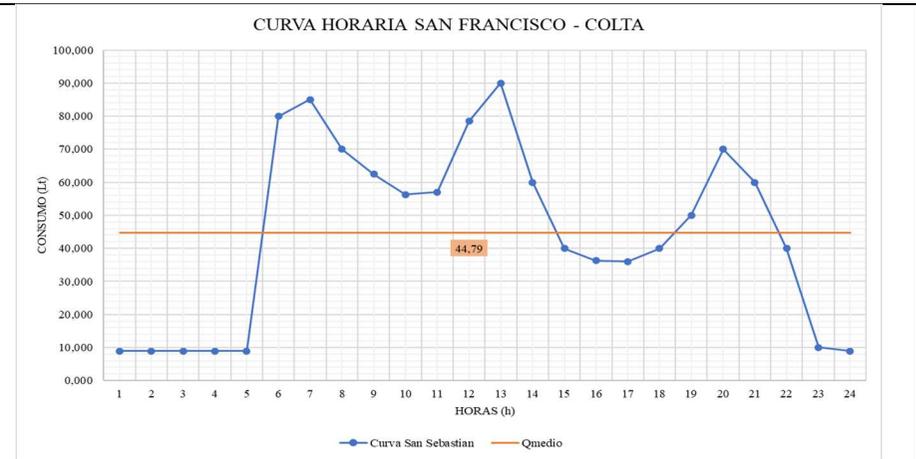
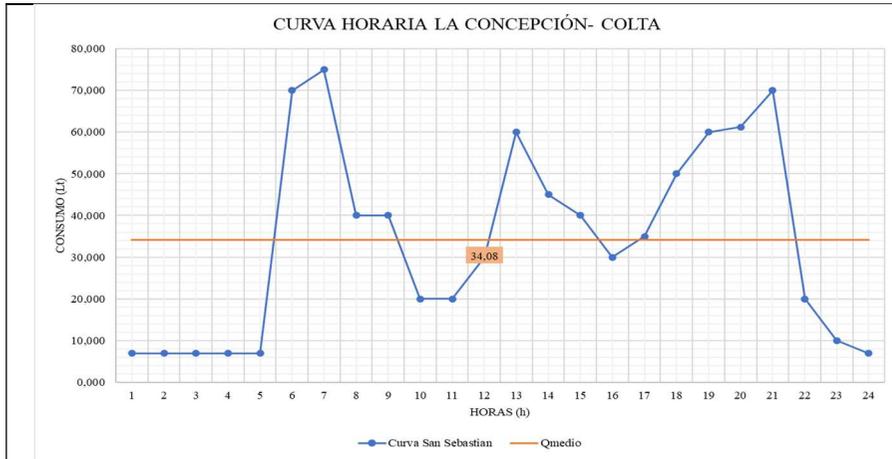
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 7

Curvas de consumo de agua residencial de los barrios de Colta y Penipe.

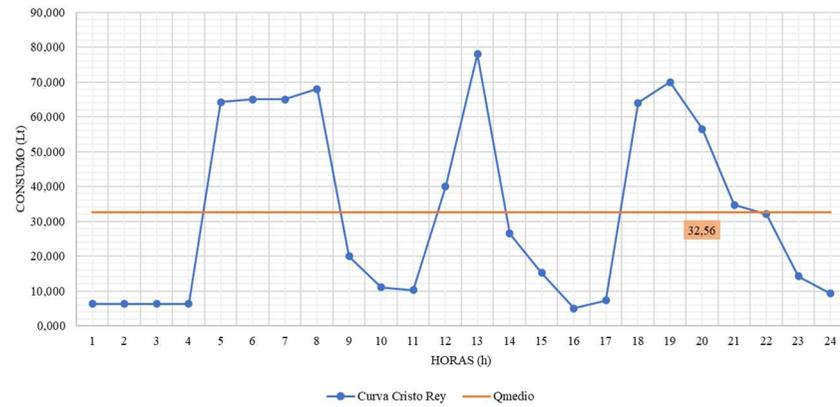




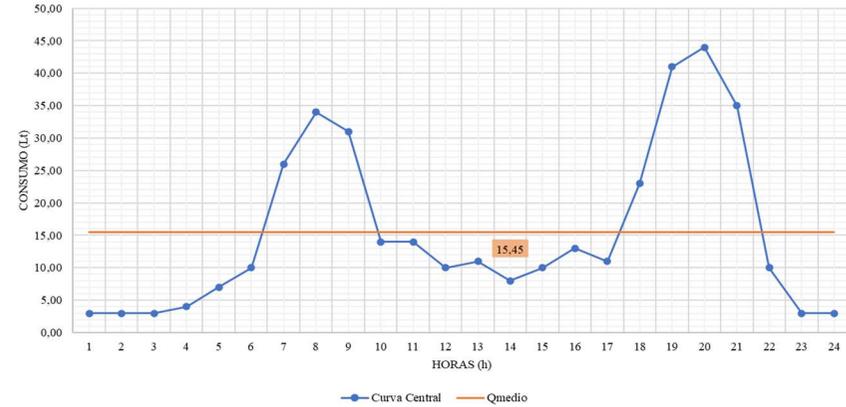


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

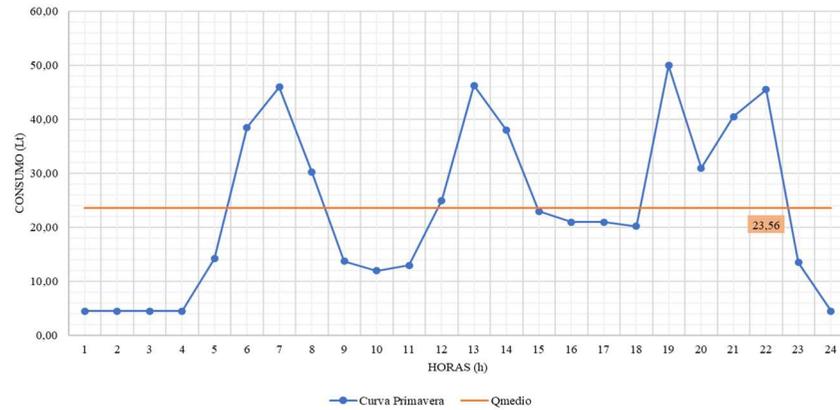
CURVA HORARIA CRISTO REY - PENIPE



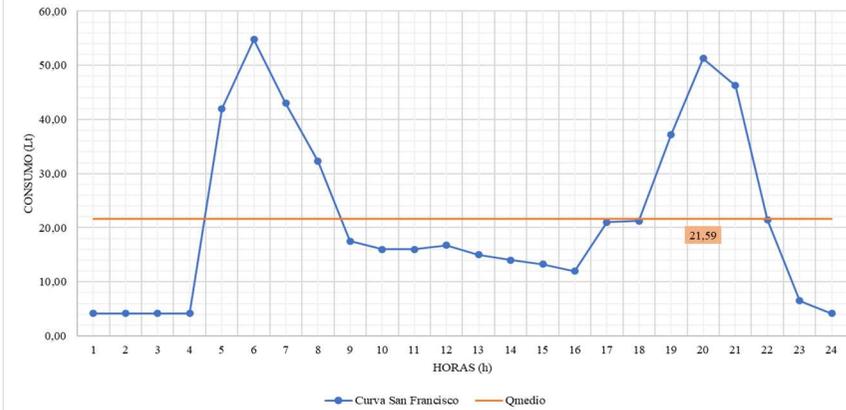
CURVA HORARIA CENTRAL-PENIPE

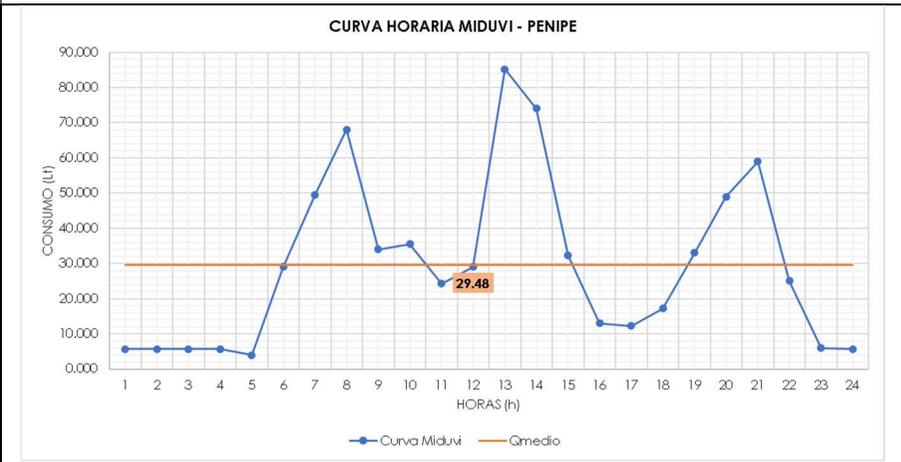
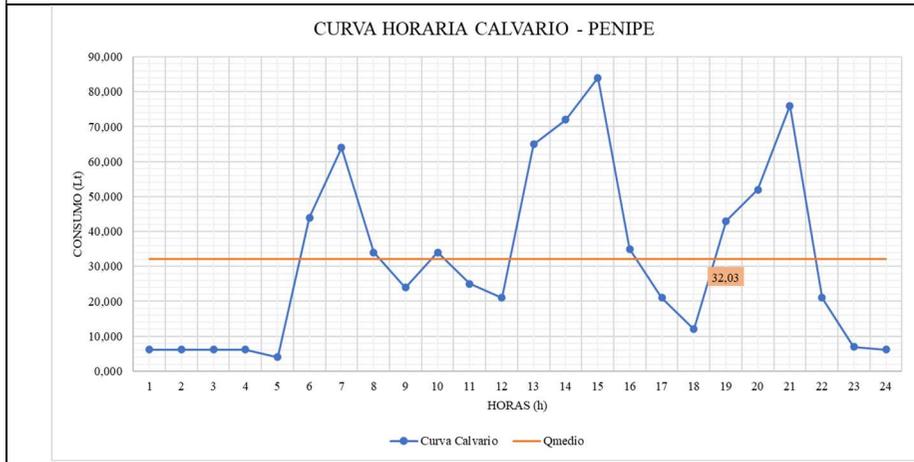
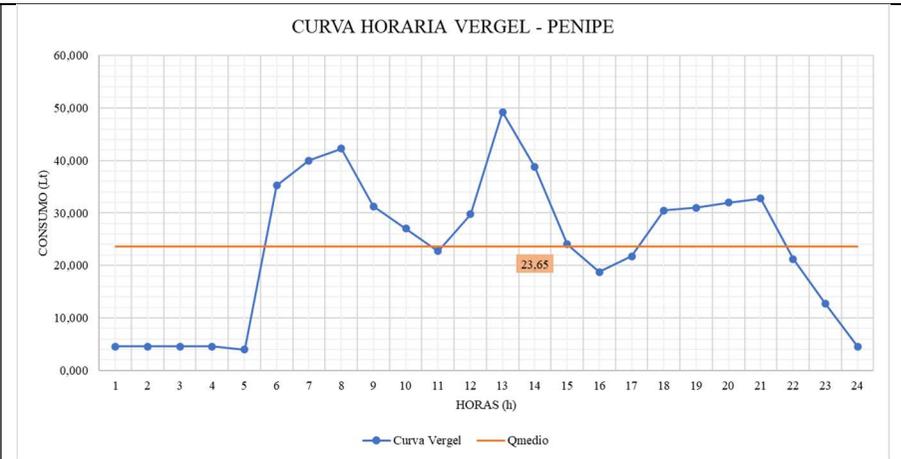
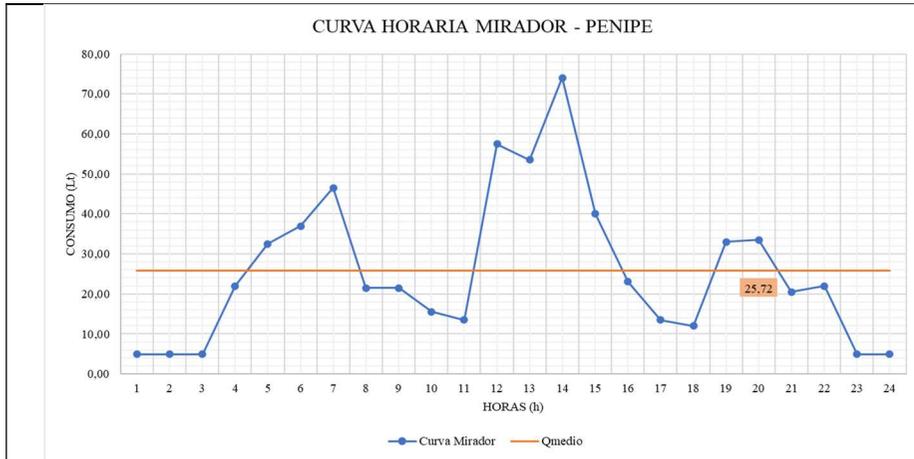


CURVA HORARIA PRIMAVERA - PENIPE



CURVA HORARIA SAN FRANCISCO - PENIPE

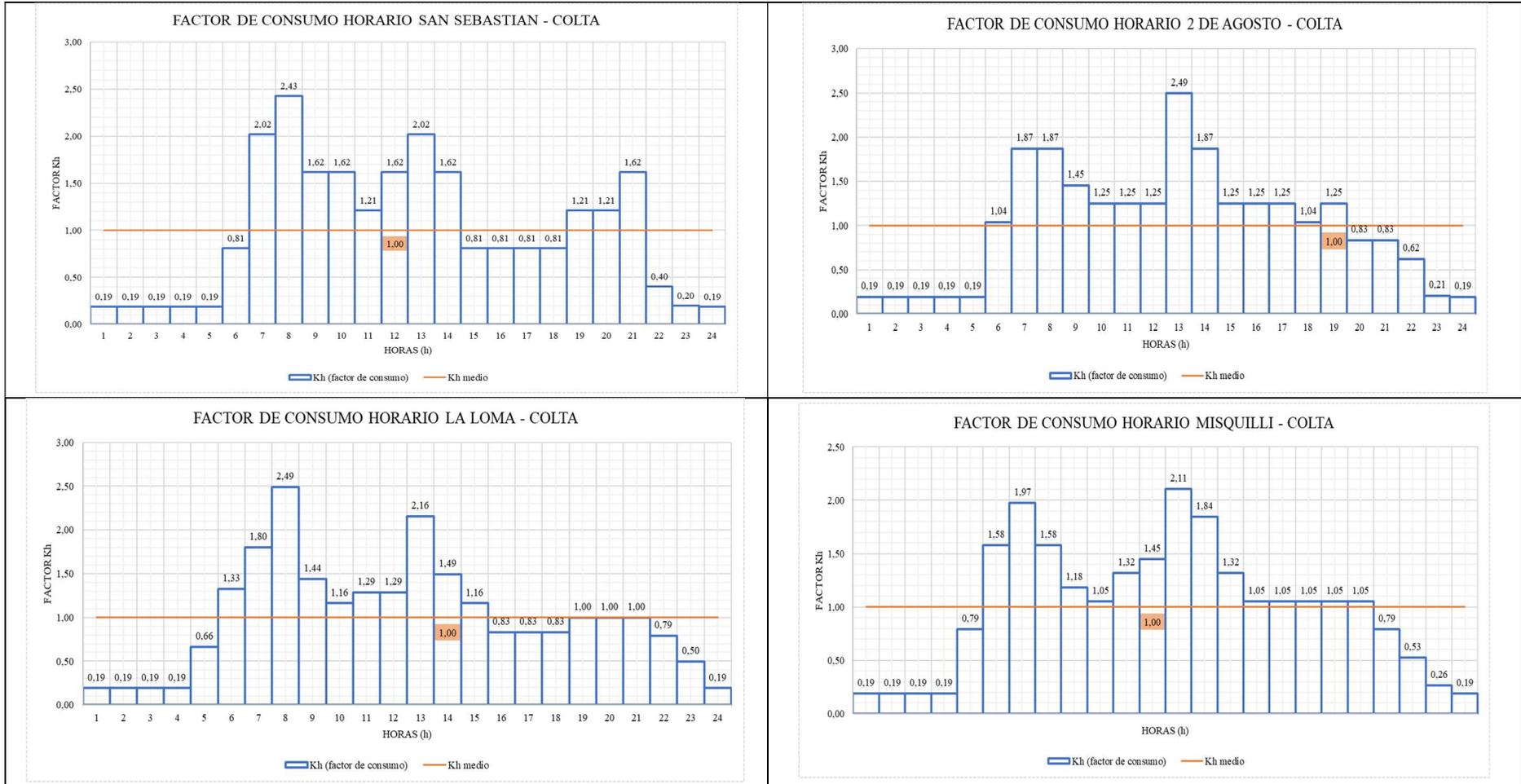




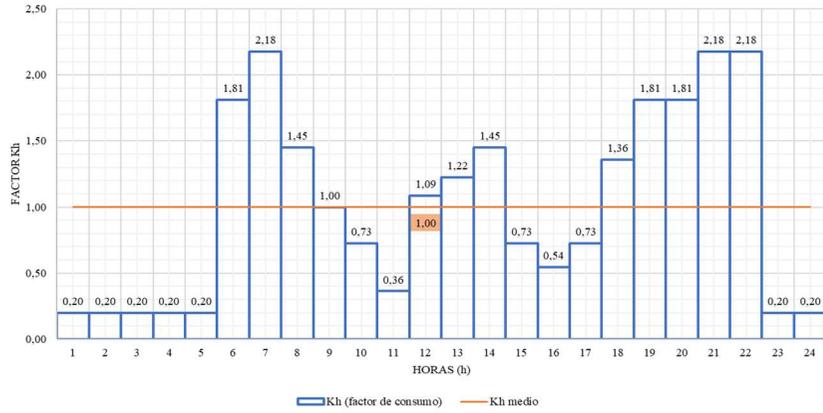
Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

Anexo 8

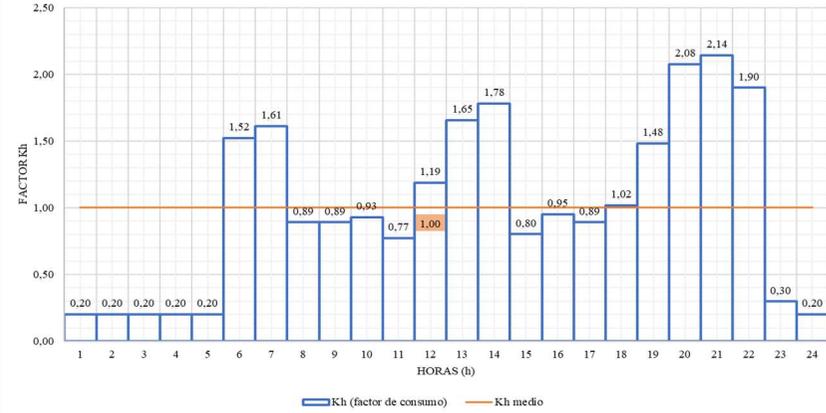
Curvas de modulación horaria (Kh) de los barrios de Colta y Penipe.



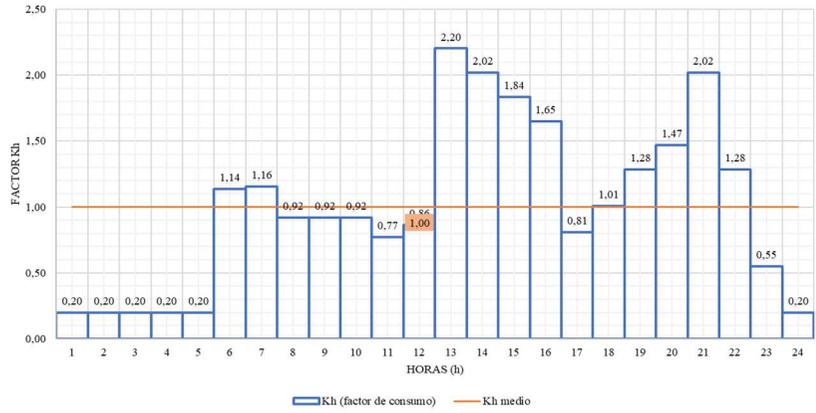
FACTOR DE CONSUMO HORARIO CUNUGOGGIO - COLTA



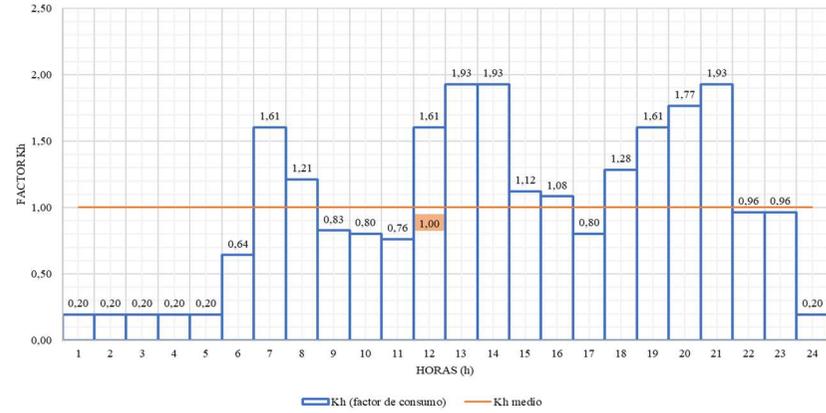
FACTOR DE CONSUMO HORARIO MARIANITAS - COLTA

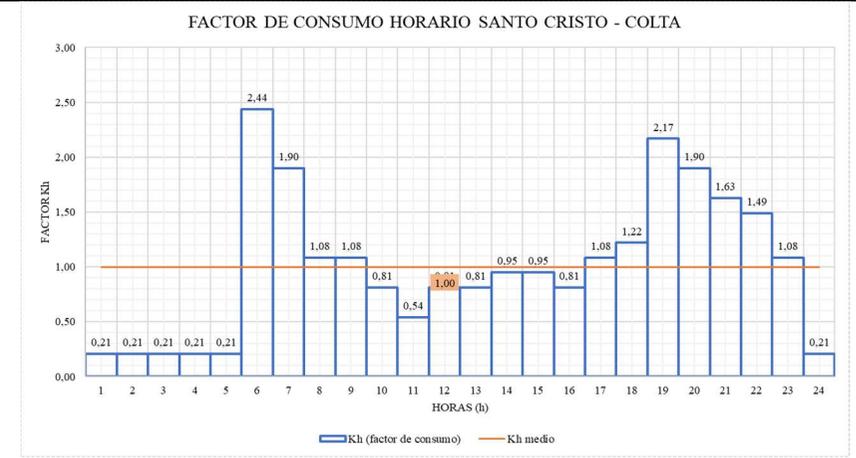
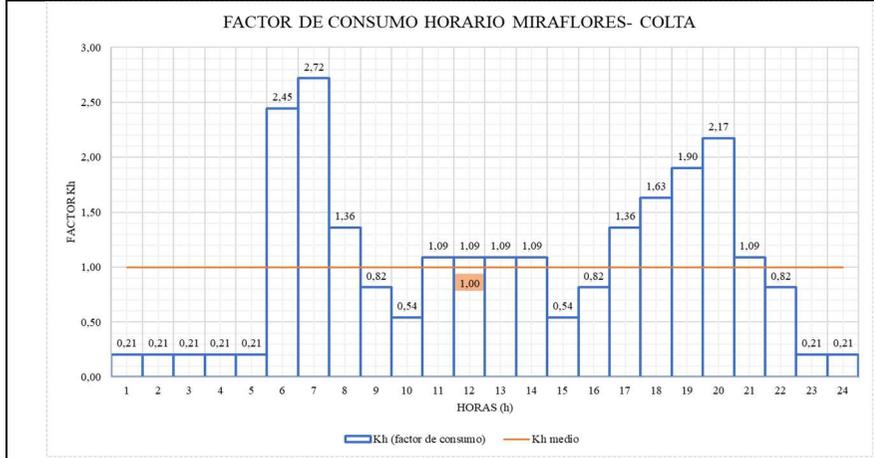
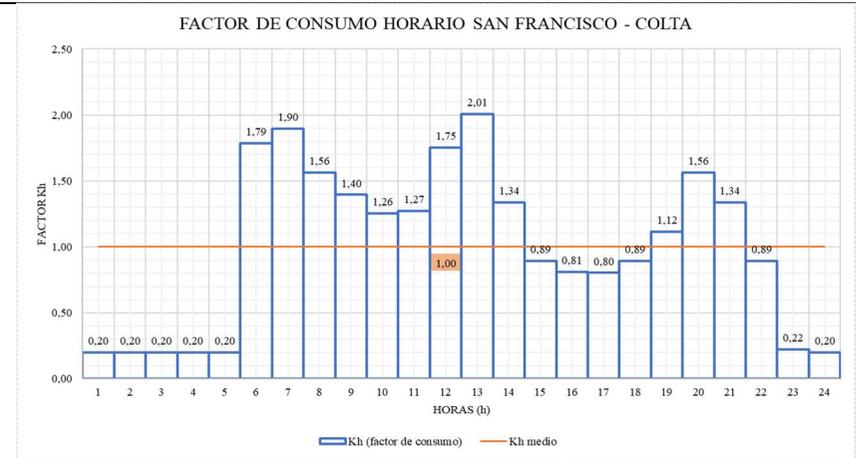
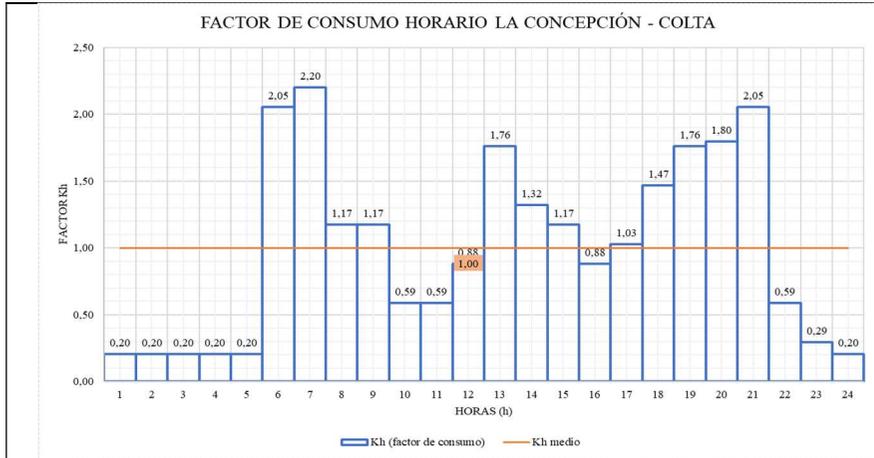


FACTOR DE CONSUMO HORARIO SANTO DOMINGO - COLTA



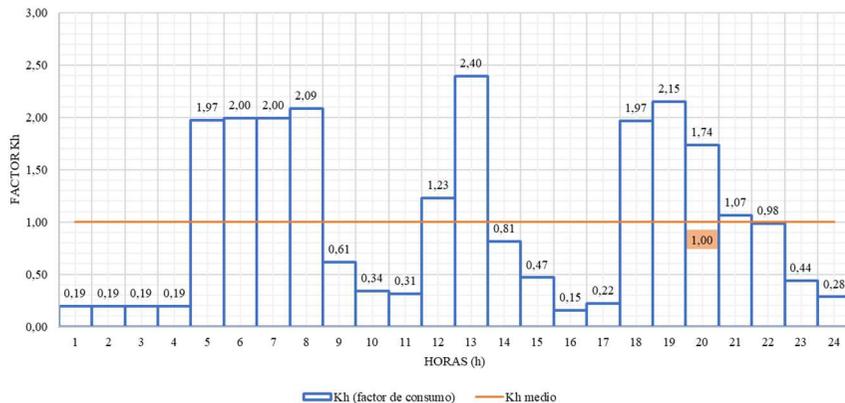
FACTOR DE CONSUMO HORARIO SAN LORENZO - COLTA



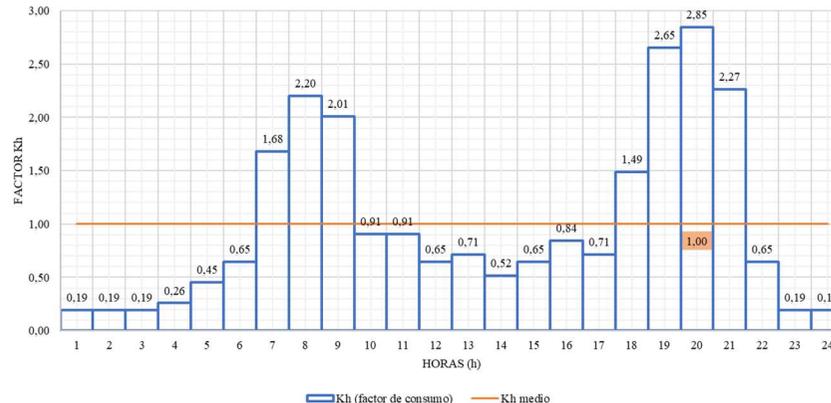


Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)

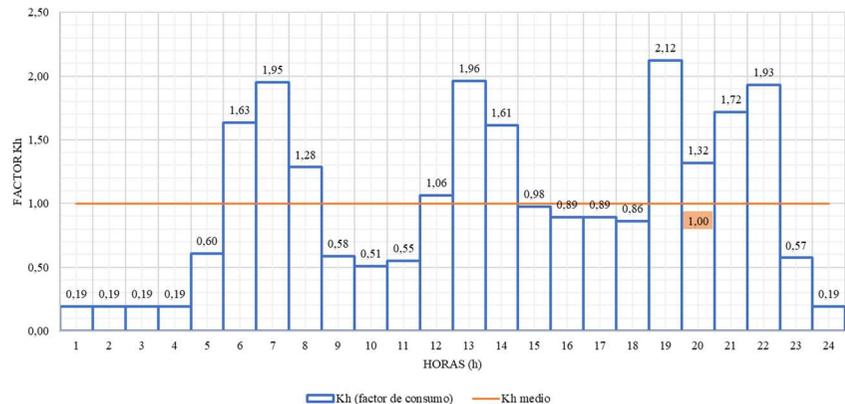
FACTOR DE CONSUMO HORARIO CRISTO REY - PENIPE



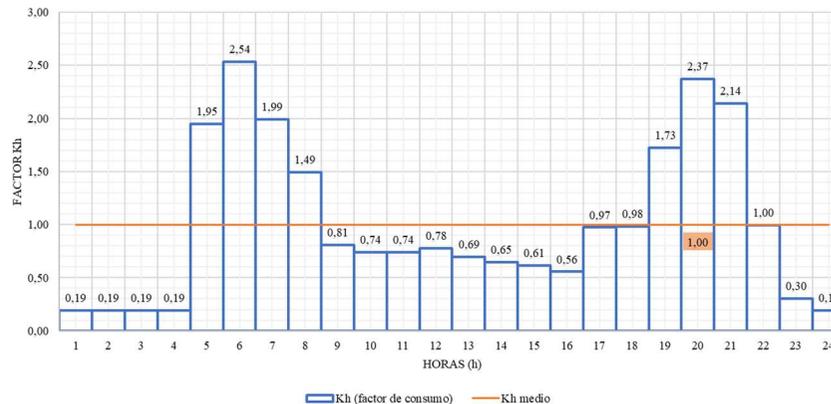
FACTOR DE CONSUMO HORARIO CENTRAL-PENIPE

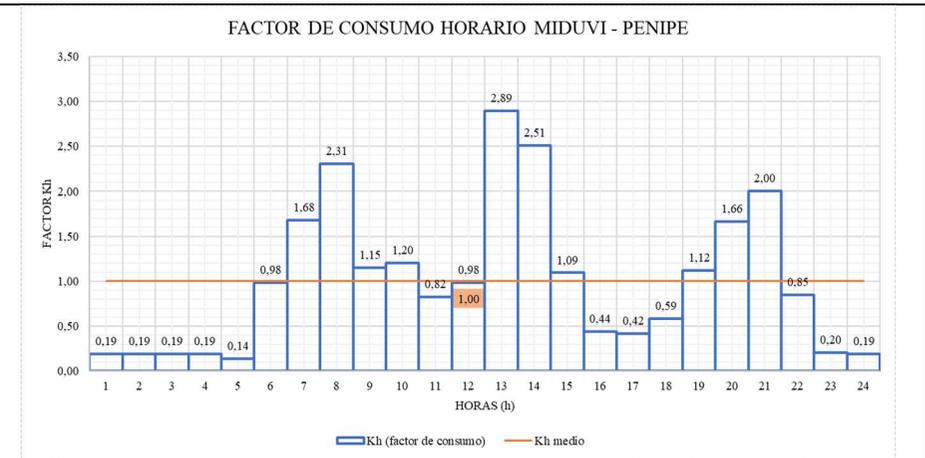
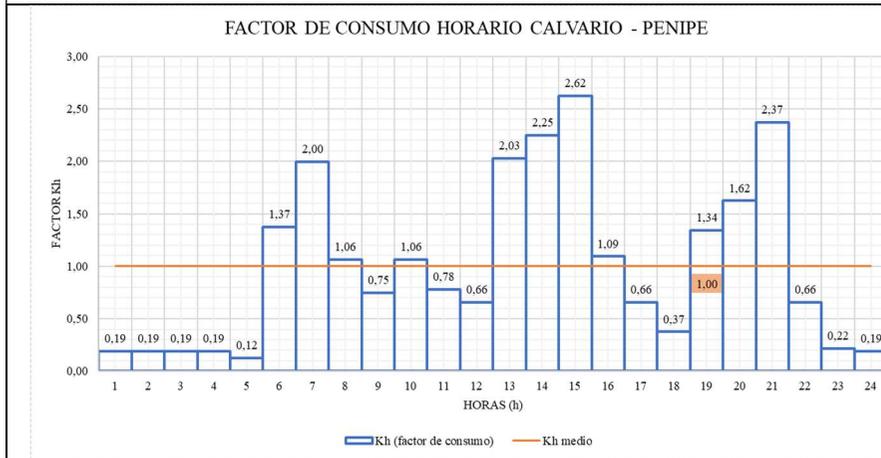
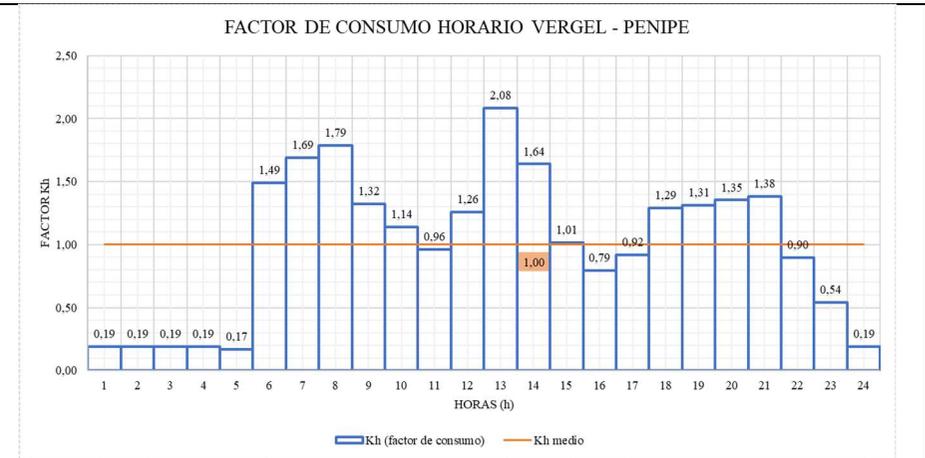
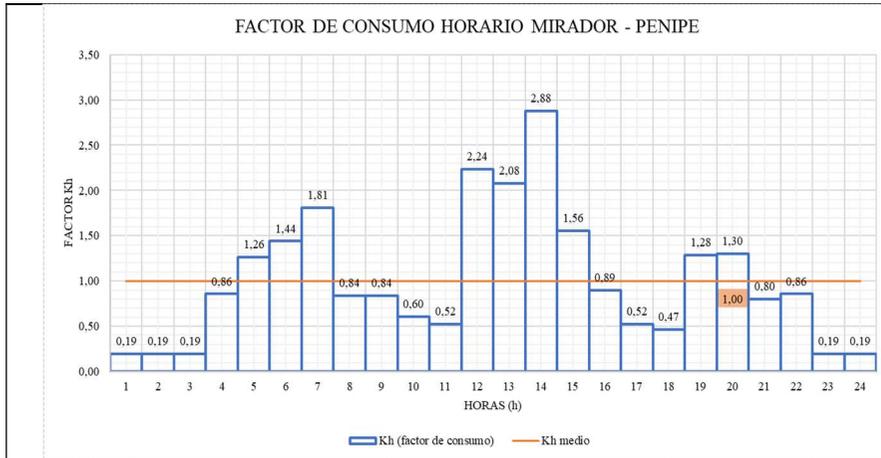


FACTOR DE CONSUMO HORARIO PRIMAVERA - PENIPE



FACTOR DE CONSUMO HORARIO SAN FRANCISCO - PENIPE





Fuente. (Calderón E. & Tello I., 2022)