



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Estudio del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable de  
la ciudad de Machachi.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Guanolema Maroto Henrry Geovanny

Tutor:

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

Riobamba, Ecuador. 2025

## DERECHO DE AUTORÍA

Yo, **Henrry Geovanny Guanolema Maroto**, con cédula de ciudadanía **0604121319**, autor del trabajo de investigación titulado: **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONSUMO HORARIO RESIDENCIAL DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MACHACHI**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 09 de diciembre de 2025.



**Henrry Geovanny Guanolema Maroto**

C.I:0604121319

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR

En la Ciudad de Riobamba, a los **12** días del mes de **noviembre** de **2025**, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación por el estudiante **Guanolema Maroto Henrry Geovanny** con CC: **0604121319**, de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado “ **Estudio del Comportamiento de Consumo Horario Residencial de Agua Potable de la Ciudad de Machachi** ”, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



---

MsC. María Gabriela Zúñiga Rodríguez  
**DOCENTE TUTOR**

## **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 del Consumo Horario Residencial de Agua Potable de la Ciudad de Machachi”, presentado por Henrry Geovanny Guanolema Maroto con cédula de identidad 0604121319; bajo la tutoría de MSc. 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 a la fecha de su presentación.  
04 de diciembre de 2025.

Ing. Diego J. Barahona, MsC  
Presidente del Tribunal de Grado



Diego Barahona  
Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Ing. Alfonso P. Arellano, MsC



Alfonso Arellano  
Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Ing. Jessica P. Brito, MsC



Jessica Brito  
Firma



## CERTIFICACIÓN

Que, **Guanolema Maroto Henrry Geovanny** con CC: **0604121319**, estudiante 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 DE LA CIUDAD DE MACHACHI**", cumple con el 7 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 03 de diciembre de 2025



MSc. Maria Gabriela Zuñiga Rodriguez  
TUTORA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

A mis padres por el apoyo en toda la etapa universitaria, por inculcarme valores de responsabilidad y por forjar una persona llena de metas.

A mis hermanos y sobrina por la comprensión y el apoyo diario por valorar el esfuerzo y darme la confianza.

A mí por las ganas de cumplir mis sueños de ser un gran profesional, por no rendirme.

*Henrry Geovanny Guanolema Maroto*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiar mis pasos y a mis padres Rosa y Francisco que han sido el motivo primordial para alcanzar mis metas por el ejemplo que me han dado, gracias por ser mi apoyo incondicional, por sus consejos en cada etapa de mi vida, por su cariño y amor, valoro el sacrificio y esfuerzo que hacen a diario.

A mis hermanos Jhonatan que ha sido como un compañero y amigo, a mi hermana Jessica por su constante preocupación y dedicación por su cuidado que ha sido como una segunda madre.

A mi sobrina Génesis que ha sido como una hermanita, por sus sonrisas y palabras que me alentaban a seguir.

A mi amigo Bryan que me motivaba a no rendirme y a Jhoanna que me ha brindado su apoyo y comprensión en todo este proceso.

Agradezco a la Ing. Gabriela Zuñiga por su trabajo, confianza y apoyo como tutora a lo largo del proyecto.

*Henrry Geovanny Guanolema Maroto*

## ÍNDICE

### DERECHO DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR .....

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....

CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....

DEDICATORIA .....

AGRADECIMIENTO .....

RESUMEN .....

ABSTRACT .....

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN ..... 16

    1.1 Antecedentes ..... 16

    1.2 Zona de estudio ..... 17

        1.2.1 Redes de distribución y almacenamiento de agua potable ..... 19

    1.3 Planteamiento del Problema ..... 20

    1.4 Pregunta de investigación ..... 21

    1.5 Objetivos ..... 21

        1.5.1 General ..... 21

        1.5.2 Específicos ..... 21

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO ..... 22

    2.1 Conceptos Generales ..... 22

        2.1.1 Agua ..... 22

        2.1.2 Agua Potable ..... 22

        2.1.3 Consumo de Agua ..... 22

        2.1.4 Patrones de Consumo Diario ..... 22

        2.1.5 Factores que influyen en el consumo de agua potable ..... 24

    2.2 El estado del arte ..... 25

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA ..... 27

3.1	Tipo de investigación.....	27
3.2	Métodos y técnicas de recolección de datos .....	27
3.3	Población del estudio y tamaño de la muestra .....	28
3.3.1	Población.....	28
3.3.2	Muestra .....	28
3.4	Procesamiento y análisis de datos.....	29
3.4.1	Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística .....	29
3.4.2	Medidas horarias volumétricas de agua potable .....	31
3.4.3	Equipo de Medición Utilizado en el Flujo de Agua.....	32
3.5	Procesamiento y Análisis Estadístico .....	33
3.5.1	Compilación de Datos Inicial.....	33
3.5.2	Validación de Datos .....	34
3.5.3	Caudal Medio.....	35
3.5.4	Caudal de Fugas de Fondo Dentro del Sistema .....	36
3.5.5	Coeficiente de variación del consumo horario (Kh) .....	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		38
4.1	Principales factores que impactan el consumo de agua potable .....	38
4.1.1	Estratificación .....	38
4.1.2	Cantidad de habitantes por vivienda .....	41
4.1.3	Almacenamiento de agua en las viviendas .....	42
4.1.4	Infraestructura sanitaria en las viviendas .....	44
4.1.5	Nivel de servicio .....	45
4.2	Curvas de consumo horario residencial .....	46
4.2.1	Consumos mínimos horarios por redes de distribución .....	46
4.2.2	Estimación de la curva de modulación horaria .....	49

4.2.3 Consumo horario residencial por estratos socioeconómicos .....	50
4.2.4 Coeficiente de consumo por redes .....	52
4.2.5 Comparativa de coeficiente de variación del consumo máximo horario .....	54
4.3 Discusión .....	55
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
5.1 Conclusiones.....	58
5.2 Recomendaciones .....	58
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Caudal actual en la ciudad de Machachi .....	24
<b>Tabla 2</b> Muestra por cada red de distribución en Machachi .....	29
<b>Tabla 3</b> Puntuación para la categorización de las manzanas en Machachi.....	31
<b>Tabla 4</b> Puntuación para la categorización según encuestas en Machachi .....	31
<b>Tabla 5</b> Distribución de estratos socioeconómicos en Machachi .....	39
<b>Tabla 6</b> Comparación de los consumos horarios de las tres redes.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Machachi.....	18
Figura 2. Representación de la curva de consumo diario. ....	23
Figura 3. Desarrollo de la investigación .....	27
Figura 4 Estructura Urbana de Machachi .....	30
Figura 5 Diagrama de cajas y bigotes del consumo horario en Machachi .....	35
Figura 6 Distribución de estratos socioeconómicos en Machachi .....	38
Figura 7 Identificación de medidores de estratos en la Red Machachi .....	40
Figura 8 Identificación de medidores de estratos en la Red Aloasí.....	41
Figura 9 Identificación de medidores de estratos en la Red Tucuso .....	41
Figura 10 Promedio de habitantes por vivienda en Machachi.....	42
Figura 11 Porcentaje de viviendas con reserva de agua potable.....	43
Figura 12 Distribución de unidades sanitarias en Machachi .....	44
Figura 13 Distribución de unidades sanitarias en Machachi .....	45
Figura 14 Nivel de servicio agua potable .....	46
Figura 15 Comparativa de curvas de consumo horario residencial .....	47
Figura 16 Curva de consumo en la Red Machachi .....	48
Figura 17 Curva de consumo en la Red Tucuso .....	48
Figura 18 Curva de consumo en la Red Aloasí .....	48
Figura 19 Curva de modulación horaria residencial Red Machachi.....	50
Figura 20 Curva de consumo horario del estrato Red Machachi.....	51
Figura 21 Curva de consumo horario del estrato Red Aloasí .....	51
Figura 22 Curva de consumo horario del estrato Red Tucuso.....	51

Figura 23 Coeficiente de consumo horario Red Machachi.....	53
Figura 24 Coeficiente de consumo horario Red Aloasí .....	53
Figura 25 Coeficiente de consumo horario Red Tucuso.....	53
Figura 26 Comparativa del consumo horario en Machachi .....	54
Figura 27 Mapa de los coeficientes máximos horarios de las tres redes de distribución .....	55

## RESUMEN

En la actualidad es indispensable proveer y consumir agua potable de manera segura y digna lo cual es muy esencial para el desarrollo poblacional. En la ciudad de Machachi el crecimiento poblacional y el sistema de distribución de agua tiene un aumento significativo en el consumo de agua por horas, por lo tanto es esencial identificar las variables de estos cambios para mejorar la calidad de vida y optimizar los recursos naturales, el principal objetivo del desarrollo del proyecto es determinar patrones que afectan el consumo del recurso hídrico en el sector residencial de la ciudad, para lograr esto, se realizó una estratificación socioeconómica de la población para clasificar las áreas residenciales y el nivel de concentración de las redes de distribución. Además, se llevaron a cabo mediciones en campo con medidores de agua residenciales donde se recolectaron datos de consumo por 7 días, las 24 horas, para la construcción de un perfil representativo de uso. El enfoque utilizado se considera un estudio de caso ya que se implementó en un contexto social particular con un enfoque cuantitativo y cualitativo, analizando los medidores instalados en tres sectores de distribución: Machachi, Aloasi y Tucuso. Los análisis obtenidos en el desarrollo del proyecto, se determina que el mayor consumo de agua está en el horario de 06h00- 09h00 y por la noche de 18h00- 21h00, se puede concluir que el consumo alto es debido al inicio de las actividades cotidianas del hogar como, usar la lavandería, aseo personal, entre otros. La red principal de Machachi genera consumos elevados en comparación a las redes de Aloasi y Tucuso, destacando valores mínimos en la red de Tucuso debido a la organización residencial. Estos análisis se realizan con el propósito de generar acciones que reduzcan los desperdicios y asegurar el correcto abasteciendo a la población.

**Palabras clave:** Consumo de agua, distribución hídrica, Machachi, variabilidad horaria, optimización del recurso.

## ABSTRACT

Having clean, safe drinking water is of utmost importance for the quality of life and the growth of cities. Specifically in Machachi, population growth and the water supply system are affecting hourly per capita water consumption, so it is important to understand this pattern to improve resource management and distribution. The main purpose of this research is to assess hourly water consumption patterns in the residential sector of Machachi, thereby identifying water use patterns and improving supply planning. To achieve this, a socioeconomic stratification of the population was carried out to classify residential areas and the level of concentration of distribution networks. In addition, field measurements were conducted using residential water meters, with consumption data collected over 7 days, 24 hours a day, to construct a representative profile of use. The approach is considered a case study, as it was implemented in a specific social context and integrated quantitative and qualitative analyses of meters installed across three distribution sectors: Machachi, Aloasí, and Tucuso. According to the study, users use water resources more between 6:00 a.m. and 9:00 a.m. and 6:00 p.m. and 9:00 p.m., which coincide with the execution of both domestic and commercial activities. The Machachi network has the highest average consumption, followed by Aloasí and Tucuso, the latter with lower consumption due to urbanization. Therefore, it is essential to implement an optimization plan for the distribution of drinking water in Machachi to reduce waste and ensure an effective supply in all areas.

**Keywords:** Water consumption, water distribution, Machachi, hourly variability, resource optimization.

SONIA LLAQUELLIN  
GRANIZO LARA  
Firmado digitalmente por  
SONIA LLAQUELLIN  
GRANIZO LARA  
Fecha: 2025.11.24  
13:49:22 -05'00'

Reviewed by:

Mgs. Sonia Granizo Lara.

**ENGLISH PROFESSOR.**

c.c. 0602088890

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El aumento en la necesidad de agua potable, tal como se registra en todo el mundo, es el fenómeno que muchos organismos internacionales han documentado y la Organización de las Naciones Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [1], el consumo de agua ha experimentado un incremento sostenido. Este aumento se atribuye al desarrollo económico y a las transformaciones demográficas, que han intensificado el uso de los recursos hídricos. Dichos recursos, de forma progresiva, se destinan a actividades como la agricultura, la producción ganadera, la pesca, la industria y los servicios municipales. Para garantizar la dotación a largo plazo es necesario aplicar acciones que protejan el recurso hídrico de la ciudad.

Machachi es una de las ocho parroquias dentro del cantón Mejía que cuentan con el mayor abastecimiento debido a tener un servicio continuo de agua potable 24 horas por 7 días a la semana. El abastecimiento es mayor que el resto de las parroquias que dependen únicamente del agua suministrada por 41 sistemas de distribución de agua gestionados por la comunidad, lo que demuestra la gran brecha en el acceso a este recurso crucial que afecta la calidad de vida de los habitantes y obstaculiza el desarrollo sostenible en dichas áreas rurales, lo cual ha creado la necesidad de formular planes para mejorar la infraestructura hídrica en el cantón.

Estudios realizados por la municipalidad determinan que las aguas distribuidas a la cada una de las familias no tienen las suficientes garantías de potabilización. Se determina que el agua consumida no está en el rango promedio de consumo lo cual genera un problema al futuro de la salud del consumidor [1]. Para garantizar la calidad del recurso se plantearon soluciones y programas de sostenibilidad de agua para un mayor alcance de servicio alcanzando un promedio de 80.000 habitantes correspondientes a Machachi y Aloasí. El alcance principal de este estudio es garantizar una cobertura general a las distintas parroquias del cantón Mejía.

La línea de distribución construido en 1965 llamada Puiching tiene defectos y fallas notables en el mantenimiento, loa que ha propagado varias infestaciones como plantas acuáticas y animales que dañan el estado del agua y generan problemas de salud, otro riesgo notable es el uso de tuberías obsoletas que afectan gravemente la calidad y salud de los consumidores, el desgaste de las tuberías de asbesto cemento son el causante principal de la pérdida de calidad de agua. Dichas tuberías han generado gastos innecesarios en su mantenimiento para obtener un nivel muy bajo de calidad de agua.

La disponibilidad de agua potable limpia incide directamente en el desarrollo de las actividades cotidianas de las comunidades, siendo fundamental para garantizar condiciones de vida adecuadas. Su uso se prioriza en aspectos esenciales como la higiene personal, la preparación de alimentos y otras tareas domésticas. Según [3], en Ecuador los recursos hídricos

son considerados patrimonio nacional estratégico, ya que el acceso al agua constituye un derecho humano básico vinculado a una vida digna. En este contexto, el marco normativo nacional establece el acceso al agua potable como condición esencial para el bienestar de la población. Por ello, se han implementado políticas públicas orientadas a su protección y distribución equitativa.

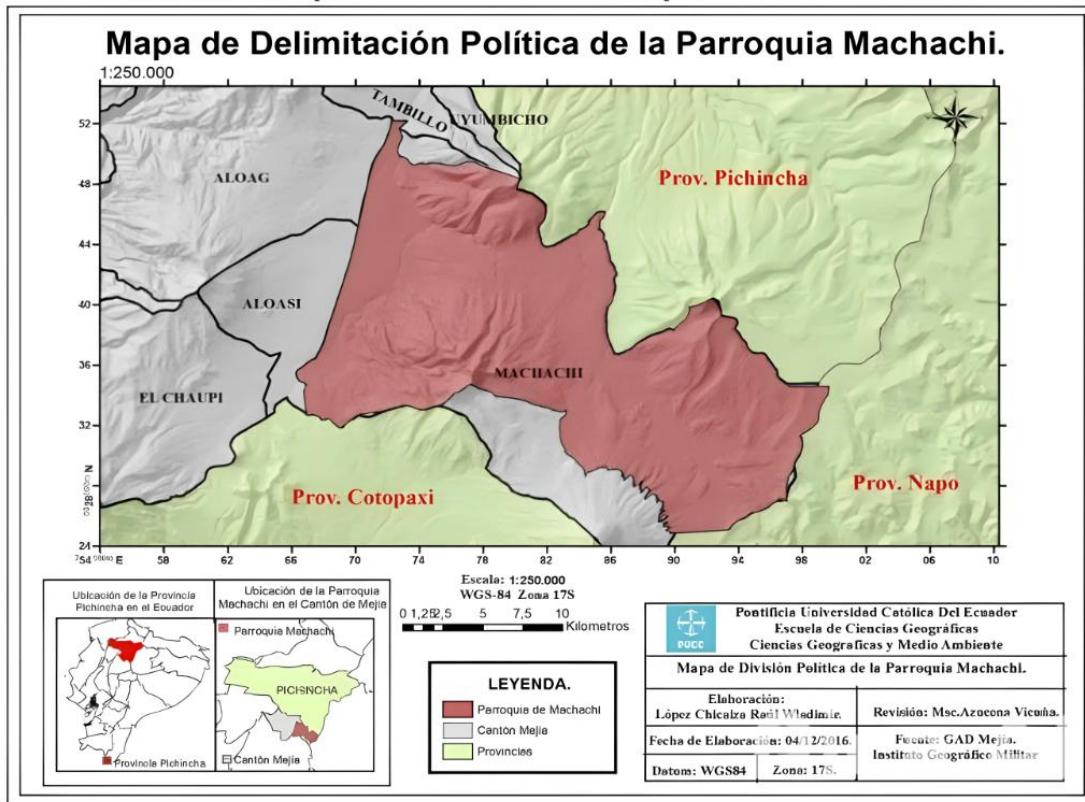
Realizar estudios apropiados, que se adapten a las necesidades y falencias actuales son cruciales para identificar los déficits de consumo horario (Kh), el empleo de gráficas, diagramas, distribución socioeconómica, para generar datos más reales sobre el consumo de agua potable y así garantizar sistema de distribución más eficiente relacionados a las necesidades actuales. Dichos análisis pueden ayudar en gran medida la conservación de los recursos a largo plazo para las próximas generaciones.

## 1.2 Zona de estudio

Machachi se configura como el principal centro de atención del cantón sur de Mejía, destacándose como el núcleo urbano más relevante y dinámico de la provincia de Pichincha. Su ubicación estratégica hacia el sureste le permite limitar con los cantones de Quito y Rumíñahui al norte, y con la provincia de Cotopaxi al sur [2]. Además, se extiende hacia la provincia de Napo al este y se conecta con Santo Domingo de los Tsáchilas al oeste, lo que la convierte en un punto geográfico clave que facilita el comercio, el tránsito y la integración regional. La parroquia de Machachi impulsa el desarrollo económico y cultural gracias a su vocación agrícola y comercial, posicionándose como un centro de producción agropecuaria en la región Sierra.

La superficie del cantón Mejía es de 1.426.46 km<sup>2</sup>, esta tiene como cabecera cantonal principal a la ciudad de Machachi, la misma consta con un área total de 415.95 km<sup>2</sup>. Machachi es considerada como un punto estratégico de comercio, turismo. La población analizada en el último censo es de 32.814 hab. El cantón Mejía tiene una parroquia urbana (Machachi) y está distribuida por siete rúales que son: Alóag, Aloasí, Tandapi, Cutulagua, Champi, Tambillo, Uyumbicho, la característica de cada parroquia destaca en su diversidad de culturas, costumbres y tradiciones, fortaleciendo así el ámbito económico de las localidades.

Según Machachi y Aloasí, ambas regiones forman parte de un sistema urbano integrado, constituyendo una unidad territorial interdependiente. Se localizan en las coordenadas UTM (N 9943330.43; E 770909.43). De acuerdo con registros de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado [5], la parroquia consolidó su posición como un centro estratégico para el desarrollo, mejorando la conectividad y el crecimiento del cantón. Además, funciona como puerta de entrada a la riqueza natural y productiva de la región. Esta diversidad geográfica favorece múltiples actividades económicas y sociales, lo que permite expandir y modernizar el desarrollo parroquial sin comprometer su identidad cultural y tradicional [6].



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la ciudad de Machachi.

**Fuente:** (Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado, 2024)

Dado que la gestión sostenible de los recursos hídricos debe abordarse de manera global, es fundamental priorizar la conservación del agua potable y su adecuada asignación. Para ello, se requieren normativas eficaces y esquemas tarifarios que garanticen el acceso sin generar cargas económicas excesivas para la población. Además, es necesario implementar estrategias sólidas que respondan al desequilibrio entre la demanda y la disponibilidad del recurso. Esto evitará el desperdicio y permitirá una mejora continua y sistemática de la infraestructura, asegurando así un suministro de agua constante y de calidad [7].

A partir de la evaluación de los ajustes periódicos en la planificación de los servicios de abastecimiento de agua, se identificaron las áreas residenciales que requieren análisis de consumo. Esta información permite definir criterios para seleccionar los sectores que deben ser monitoreados. La elección de zonas estratégicas facilita la implementación de un monitoreo detallado, lo que posibilita la recopilación de datos específicos sobre el suministro y consumo real de agua potable en Machachi. Según [8], la metodología de marco se compone de varias fases, iniciando con la aplicación de encuestas a la población para identificar sus patrones de uso del agua. Esta etapa permite determinar las percepciones sobre la calidad del servicio y detectar posibles deficiencias en la distribución del recurso. De este modo, se recopila información relevante que contribuye a comprender los patrones de consumo en los distintos sectores.

Al finalizar el periodo de registro, las inspecciones sistemáticas realizadas durante el día permitirán identificar y clasificar los puntos de alta y baja demanda del recurso. Esta práctica utilizará las actividades cotidianas de la población como base para establecer los patrones de consumo. Asimismo, los avances en el abastecimiento reflejan un consumo condicionado por factores como el número de habitantes por vivienda, la estructura socioeconómica del sector y las condiciones climáticas en las que se presta el servicio [9].

La toma de datos permite obtener los rangos mínimos y máximos de consumo en cada red determinado así la variación existente en el consumo de agua potable. haciendo ajustes reales al perfil de consumo, lo cual genera una dotación eficiente, evitando perdidas y cortes del servicio. La mejora del sistema de distribución está relacionada a planificaciones que adecuen un buen tratamiento y mantenimiento de las redes.

Es necesario realizar este estudio en la ciudad de Machachi enfocados en las necesidades y detallando los objetivos que garanticen el correcto suministro de agua. Aplicando la metodología adaptada a los datos reales y así garantizar el abastecimiento de agua potable a la población fortaleciendo la sostenibilidad del recurso y proporcionado una mejor calidad de vida.

### **1.2.1 Redes de distribución y almacenamiento de agua potable**

La región de Machachi, que reside en la región del valle interandino, está compuesta por llanuras casi planas con una pendiente de sur a norte de aproximadamente el 1,65%, extendiéndose hacia las montañas vecinas, las características dan lugar a un paisaje cautivador que apoya las actividades agrícolas y ganaderas que son características de la región, lo que no solo proporciona áreas naturales de recolección de agua, sino que también garantiza una distribución efectiva del recurso hídrico tanto en áreas urbanas como rurales, el área particular tiene una precipitación promedio de 950 milímetros por año además de presentar cambios estacionales significativos. Existe un periodo de sequía de junio a agosto, donde menos precipitación se traduce en menos recursos hídricos aprovechables. Mientras tanto, el mes de abril es conocido por recibir 117 milímetros en precipitaciones que reponen los recursos de agua dulce esenciales para mantener los ríos y manantiales locales [6].

Las cuatro fuentes hídricas que tiene el cantón mejía son manantiales, dos de ellas están ubicadas en San francisco, y las otras dos en Alvares y Puiching. Estas fuentes son consideradas las principales para el aprovisionamiento y permiten la distribución del recurso mediante un sistema por gravedad, con excepción del tramo que abastece a la planta mediante bombeo. El esquema del proceso de tratamiento incluye unidades de aireación para mejorar la calidad del agua, desinfección con cloro y tratamiento con gas para eliminar microorganismos nocivos. Estas etapas aseguran un tratamiento adecuado y seguro antes de la distribución a viviendas e instituciones del cantón [6].

Machachi tiene 5 tanques de almacenamiento localizados en puntos estratégicos, obteniendo así dos tanques en Aloasí, un tanque en Cosmorama, y por último en Tucuso y

Miraflores, almacenado 1.600 m<sup>3</sup>, esta cantidad de agua garantiza un flujo constante a la dotación minimizando emergencias durante pérdidas o cortes del servicio.

Las tres redes distribuyen de manera independiente teniendo así una tubería de 52.70 km para Machachi, 21.57 km para Aloasí y por ultimo tucuso con 6.28 Km. Estas redes abastecen a 7.695 usuarios residenciales, garantizando una destrucción uniforme a gran parte de la población. La necesidad de incrementar el sistema de distribución sigue en aumento en zonas aledañas a Machachi. Por lo tanto, es crucial implementar nuevos mecanismos de mejoras en las estructuras para garantizar un correcto funcionamiento.

### 1.3 Planteamiento del Problema

El resultado obtenido de investigaciones previas determina que el factor principal para el déficit al acceso de agua potable radica a una sobre población, al incremento de nuevas tecnologías, al cambio climático, se sospecha que en el año 2030 el 74% de habitantes consumirá agua de mala calidad, reduciendo las fuentes de acceso, causando pérdidas en la redes e infraestructuras, los sectores más afectados serían las zonas urbanas y suburbanas presentando asacases en la dotación. Este análisis arroja como objetivo disminuir las perdidas, aprovechando al máximo el recurso, mejorando los mecanismos de captación, distribución, y consumo. Lo cual evidencia un reto enorme a instituciones nacionales e internacional del tratamiento de agua potable [10].

El agua tratada es fundamental para el día a día de la población, empleada en cosas básicas como bebidas (hidratación), para consumo de alimentos, higiene y limpieza. La importancia de proveer agua de calidad es garantizar la salud del consumidor. A pesar de ello la falta de higiene en las zonas urbanas afectan de gran manera la calidad de vida. Es trabajo de las autoridades solucionar y dar seguimiento a zonas olvidadas donde el consumo de agua no es apto, y es consumida directamente de fuentes externas no tratadas, dando como consecuencia a graves daños a la salud y retrocediendo los avances actuales en la calidad de vida [11].

Revisando el alcance y calidad de agua en las zonas residenciales se as urbanas o rurales, se determinaron puntos donde es necesario una optimización del recurso. El consumo está relacionado directamente al consumo de agua en estanques, de fuentes externas o redes sin mantenimiento las cuales ya cumplieron con sus años de vida, como consecuencia afecta directamente al consumidor y genera estragos en la salud y bienestar. La garantía de cubrir con las necesidades diarias de la población se requiere un equilibrio en el fortalecimiento de la infraestructura, y control de desperdicios asegurando un flujo constante del servicio [2].

El problema principal en las redes de Machachi es la falta de mantenimiento en tuberías, que se manifiesta en daños y desgastes prematuros. Generando pérdidas, fugas, daños a los accesorios. Lo cual disminuye la calidad de dotación causando pérdidas económicas notables, además de perder un 54% de agua, afectando directamente a costos de ejecución, mantenimiento, y mejoras. Afectando al consumidor en la tarifa por consumo. El déficit en el

tratamiento de agua prima en pérdidas ya que solo se realiza al 25% del caudal obtenido evidenciando una perdida notable del caudal.

La [5] menciona que las fuentes de captación actuales garantizan el abastecimiento de agua para la ciudad de Machachi hasta el año 2032. Por lo tanto, se requiere la implementación de una captación adicional que permita mantener un servicio adecuado y continuo para la población. Además del déficit existente en las reservas, los diámetros utilizados en las instalaciones resultan insuficientes para garantizar la conducción de agua potable conforme a las normativas técnicas vigentes. En definitiva, el principal problema identificado es el déficit de capacidad de las redes de distribución en Machachi y Aloasí, incluso en el periodo actual. No es factible ejecutar cambios ni mejoras sustanciales en el corto plazo (5 años); por ello, se recomienda desarrollar diseños técnicos adecuados que respondan a las necesidades actuales y proyecten soluciones para escenarios a mediano y largo plazo, es decir, entre 10 y 20 años.

#### **1.4 Pregunta de investigación**

- ¿Cuál es el comportamiento del consumo horario de agua potable en el sector residencial de la ciudad de Machachi?

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 General**

- Determinar el comportamiento del consumo horario de agua potable del sector residencial de la ciudad de Machachi.

##### **1.5.2 Específicos**

- Realizar la estratificación socioeconómica con el objetivo de identificar las zonas residenciales y reconocer la distribución de redes de abastecimiento de agua.
- Realizar mediciones en campo de los medidores residenciales con la finalidad de obtener el volumen total del consumo horario.
- Generar la curva de consumo horario residencial de agua potable en la red de distribución de la ciudad de Machachi.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Conceptos Generales

#### 2.1.1 Agua

El agua es el único elemento que puede existir en tres estados físicos: sólido, líquido y gas, lo que le permite adaptarse a diversas condiciones ambientales y participar en múltiples ciclos naturales; gracias a esta capacidad, regula el clima, crea ecosistemas, sostiene la vida y actúa como medio para transportar nutrientes y minerales esenciales, facilitando procesos biológicos fundamentales y contribuyendo al equilibrio de los ecosistemas [12].

El consumo de agua potable está relacionado directamente al tipo de estrato, actividades, costumbres y necesidades. Es fundamental para procesos de producción que dependen del recurso hídrico, como generación de energía, producción de alimentos, ayudando a la reducción de fuentes energéticas no renovables [13].

#### 2.1.2 Agua Potable

Al considerar el agua como suministro, se la reconoce como un recurso esencial para la vida diaria, por lo que debe gestionarse adecuadamente para garantizar su disponibilidad en calidad y cantidad [14]. Por ello, es fundamental analizar las variables que determinan el consumo doméstico, incluyendo el número de personas por hogar, sus patrones de uso y la eficiencia del sistema de distribución. Estos factores están orientados al consumo de la población de Machachi y a la capacidad de respuesta del sistema de agua potable local.

#### 2.1.3 Consumo de Agua

[15] subrayan que, aunque ha habido un aumento en la tasa de consumo de agua en los últimos años, esto ejerce una mayor presión sobre los recursos hídricos disponibles. Los desafíos se han vuelto cada vez más preocupantes desde la perspectiva de la planificación y gestión. Por ello, es fundamental diseñar estrategias eficientes que mejoren la prestación de servicios, atiendan las necesidades de la comunidad y eviten problemas de abastecimiento. De esta forma, se asegura que toda porción relevante de la población reciba agua potable sin interrupciones.

#### 2.1.4 Patrones de Consumo Diario

Los patrones de consumo de agua presentan fluctuaciones significativas según la hora del día, mostrando picos de alta demanda y períodos de baja demanda. Este comportamiento está influenciado principalmente por la población, que determina los momentos de incremento y reducción en el consumo [7]. Esta información resulta fundamental para diseñar un sistema de control que prediga con precisión los niveles variables de uso. Así, se maximiza la exposición de la infraestructura a los períodos pico, mejorando la gestión y planificación tanto del consumo

rutinario como del consumo irregular. De esta forma, el sistema se adapta para mantener la continuidad y calidad del servicio.

El análisis de la curva de consumo permite identificar los volúmenes de agua que se deben producir y distribuir en la red según la demanda, esto garantiza la optimización del suministro para la población [9]. También señalan que uno de los beneficios de establecer la demanda en diferentes horarios es anticipar los períodos de mayor consumo. De esta forma, se asegura la cobertura sin desperdicios ni deficiencias en el servicio. Además, se puede relacionar el consumo con distintos períodos, asociados a actividades cíclicas como el aseo personal, la preparación de alimentos y el trabajo, evidenciando que el consumo se repite en dichos lapsos.

La simulación del consumo de agua revela que el uso varía según factores sociales, climáticos y económicos, tales como el tipo de vivienda, el número de habitantes y la ubicación geográfica. Estos elementos influyen directamente en la demanda total de agua potable. Por ello, es necesario justificar las brechas para permitir una planificación responsable del suministro, que evite tanto el desperdicio por parte del proveedor como la escasez para el usuario final. En consecuencia, promover la eficiencia en la provisión del servicio y una respuesta ágil a las necesidades de la población garantiza el mantenimiento de condiciones de servicio universal [3].



**Figura 2.** Representación de la curva de consumo diario.

**Fuente.** (Guanolema, 2025)

El suministro de agua potable en la ciudad de Machachi tiene dependencia directa de la red actual. Se revela un déficit en la demanda real actual. Esto genera la necesidad de integrar nuevos campos de soluciones, con el objetivo de mantener la dotación, infraestructura de la red y beneficiar de manera conjunta la población garantizando calidad y seguridad al suministro.

Por otro lado, Machachi cuenta con tres redes de distribución, lo que resalta la necesidad de racionar el suministro disponible (ver Tabla 1). Es fundamental verificar los volúmenes requeridos para cubrir la demanda actual. Se identificó que en algunas áreas el suministro es

insuficiente, afectando la sostenibilidad del servicio. Esto exige mejoras en la infraestructura para lograr una distribución eficiente del agua.

**Tabla 1**  
*Caudal actual en la ciudad de Machachi*

Red	Caudal Actual (EMAP 2024)	Caudal Necesario (EP EMAP, 2023)
Machachi	180.45 l/s	220.70 l/s
Aloasí	120.30 l/s	150.40 l/s
Tucuso	75.15 l/s	98.90 l/s
Total	375.90 l/s	470.00 l/s

De lo anterior se concluye que las redes de distribución en Machachi no suministran caudales adecuados, por lo que requieren un aumento en el abastecimiento. Es evidente la necesidad de mejorar la infraestructura y aumentar la capacidad del servicio, garantizando que todos los ciudadanos tengan acceso a agua potable en cantidad y calidad suficientes. Esto asegura una respuesta eficaz a la demanda y previene consecuencias negativas derivadas del suministro insuficiente y la presión inadecuada en la red [5].

### 2.1.5 Factores que influyen en el consumo de agua potable

[3] Se destacan la relación entre el uso de agua potable y el entorno. El cambio climático genera variaciones en la demanda, debido a alteraciones en temperatura, humedad y precipitación. Durante períodos de sequía, el consumo de agua aumenta, lo que evidencia la necesidad de una gestión más eficiente del suministro hídrico. Esta gestión debe prevenir la escasez de recursos en los picos de demanda.

Los factores principales que tienen efectos sobre el consumo en Machachi son el clima, topografía, los estratos socioeconómicos, costumbres etc. Los recursos hídricos tienen variación dependiendo los usos que se aplique lo cual destaca en los diferentes sectores urbanos de la ciudad donde aún el abastecimiento depende notablemente de fuentes alternas como vertientes, lagos y estanques. El uso continuo de agua para limpieza de autos, riego y actividades de recreación, afecta directamente a la economía poblacional. Por lo tanto, es necesario realizar estudios enfocados en dar estabilidad entre la dotación y consumo obteniendo así un sistema más eficiente [5].

Las investigaciones desarrolladas a nivel nacional ya han observado el patrón de consumo en diferentes regiones, así como las variables que moderan el uso del agua potable. Llegando a conclusiones tales que la humedad y el consumo de agua tienen una relación directa [8]. Asimismo, se evidencia que la población utiliza más agua cuando la temperatura es alta, reflejando variaciones estacionales. El ingreso medio por persona influye en el gasto realizado, dado que tarifas elevadas constituyen un obstáculo para el consumo, mientras que tarifas moderadas estimulan el gasto. Además, la confianza en la calidad del agua reduce problemas de

salud y disminuye la compra de agua embotellada, lo que afecta positivamente el consumo residencial [9]. La clase socioeconómica también incide directamente en los niveles de consumo per cápita, considerando que, en hogares con mayor número de integrantes, el consumo per cápita tiende a disminuir para equilibrar el uso de recursos entre todos.

El consumo diario de agua potable depende efectivamente de la demografía, de la cantidad de personas residentes en el hogar lo cual eleva o disminuye el volumen de agua. Para garantizar un servicio sostenible es necesario realizar estudios que contemplen factores como el número de personas en el hogar lo cual estable que el consumo es mayor en familias menos numerosas y menor cantidad al tener familias más numerosas debido al equilibrio de dotación por familia, esto integra varios aspectos como ámbitos sociales y ambientales para una mejora de calidad y garantía en el servicio [16].

## 2.2 El estado del arte

En Colombia se analizó un modelo que estableció la correlación entre factores de consumo y variables socioeconómicas. En el estrato bajo, las viviendas tienen hasta 90 m<sup>2</sup> y las actividades diarias suelen ser realizadas por mujeres menores de edad mientras que la persona responsable generalmente posee un nivel educativo básico (primaria); además estas viviendas carecen de jardines y áreas amplias de lavado. En contraste, el estrato socioeconómico alto está conformado por personas con formación académica superior o universitaria, en viviendas de aproximadamente 148 m<sup>2</sup>, con jardines y espacios recreativos. Estas características inciden en el consumo, influenciando la cantidad de habitantes, número y antigüedad de los aparatos sanitarios, así como la condición de las viviendas [17].

En países como Australia el 50% del recurso hídrico es destinado al consumo residencial influyendo el tipos de uso en la cantidad utilizada, actualmente se puede decir que el consumo es semejante al costo, lo cual genera dificultad en el mantenimiento y mejoras debido al desperdicio que existe en los sectores, como solución se deben implementar planes de desarrollo productivo, así también el mejoramiento del abastecimiento a sectores residenciales, industriales, y comerciales, obtenido mejoras significativas del costos y consumo.[17].

Estudios realizados determina que existen patrones en horarios de consumo en donde Chimborazo mediante el análisis y toma de datos de 105 medidores de agua durante una semana, abarcando 2 barrios en el cantón Colta y 8 de ellos en Penipe. Los (Kh) obtenidos fueron de 2.89 para Colta y 2.72 para Penipe lo que resulta ineficiente al no adaptarse a las necesidades actuales, por lo tanto, se necesita realizar nuevos diseños de distribución que mejoren y adapten a costos más reales y sostenibles.

El estudio llevado a cabo por [19] en los cantones de Baños y Pelileo analizó las curvas horarias de consumo durante una semana, identificando periodos pico de mayor demanda. Se registraron valores máximos de 120 l/h a las 6:00 y 100 l/h a las 19:00, lo que evidencia picos

positivos en el consumo. La concentración al mediodía representó la mayor demanda tanto en el uso doméstico como comercial del agua, siendo este el período de mayor utilización registrada.

El estudio realizado a 152 familias en el cantón Guano sobre el consumo horario de agua, las tres redes de distribución, obteniendo como resultados consumos de 134.25 l/h a las 06h00 y un aumento a las 11:00 con 135.75 l/h y se redujeron significativamente durante horas de la noche, esto se debe a la disminución de actividades en el hogar y las actividades que se posponen a lo largo del día [20].

En el análisis realizado se centró en estudiar el consumo horario en siete redes de distribución, utilizando datos obtenidos de 125 medidores durante un periodo de siete días consecutivos. A partir de esta recopilación, se establecieron los valores de variación media horaria correspondientes a cada red: 2.44 para la red 1, 2.61 para la red 2, 2.27 para la red 3, 2.07 para la red 4, 2.30 para la red 5, 2.92 para la red 6 y 2.24 para la red 7. Los resultados reflejan que varias redes no cumplen con los rangos recomendados por la normativa vigente, lo que indica deficiencias en la capacidad de respuesta del sistema ante las variaciones en la demanda. Esto evidencia la necesidad de aplicar mejoras técnicas en el diseño y operación de los sistemas de distribución, con el objetivo de minimizar las pérdidas y garantizar un suministro equilibrado y eficiente que responda a las condiciones reales de consumo de la población [21].

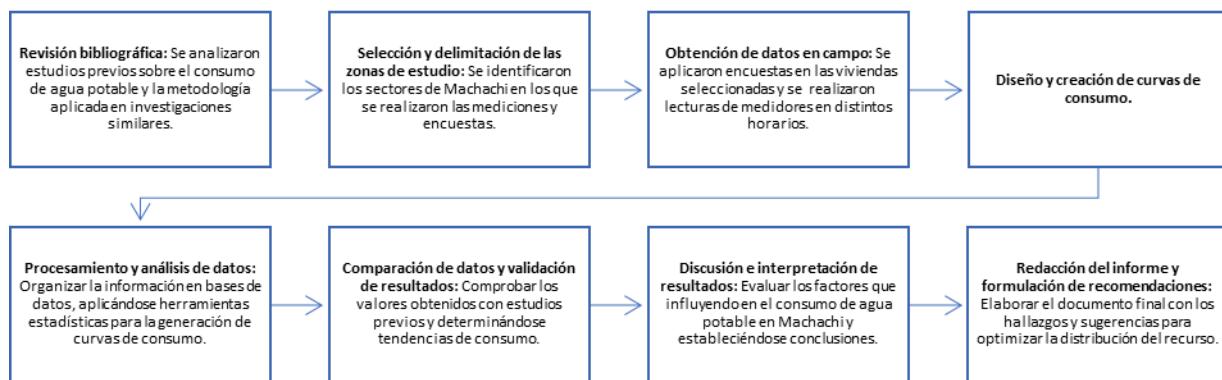
[22] Los estudios realizados en las parroquias de San Gerardo y Cubijies pertenecientes a la provincia de Chimborazo dicho análisis abarco datos de 104 medidores, realizando un levantamiento de datos durante 7 días por cada hora, obteniendo consumos máximos de 125 l/h al medio día. Los coeficientes (Kh) obtenidos en cada una de las redes estudiadas fueron de 2.46 para la red de la Cruz y 2.52 para la red de Olte San Pedro, estos valores reflejan la importancia de mejorar la eficiencia de las redes dado que sobrepasan a los rangos establecidos por la normativa.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos para obtener un análisis integral de los patrones de consumo de agua en las zonas residenciales de Machachi. Este enfoque permitió generar datos estadísticamente interpretables, complementados con observación directa y recolección de información en campo. De esta forma, se identificaron patrones de uso que permitieron analizar las variaciones en la demanda del recurso en distintos momentos del día y en diversas áreas de la ciudad [23].

Se determinó que el estudio realizado en Machachi evaluó el comportamiento de consumo, en las diferentes horas del día. Las más notables fueron en la mañana, medio día y por último los picos en la noche, estos datos permiten realizar una evaluación más fiable sobre la tendencia y fluctuación que existe en la localidad promoviendo a realizar mejoras que garanticen un correcto funcionamiento y distribución en los horarios estudiados.



**Figura 3. Desarrollo de la investigación**

Fuente: (Guanolema.2025)

### 3.2 Métodos y técnicas de recolección de datos

Al realizar el método de caracterización socioeconómica en la ciudad con menos de 150.000 hab, se establecieron que tipo de estratos viven en la ciudad de Machachi analizando factores de ingresos, tipos de viviendas, servicios, y se evaluaron que variables son de mayor demanda y analizando la eficiencia en la distribución del servicio, permitiendo una visión más precisa del desempeño del sistema de abastecimiento [24].

A través del enfoque de muestreo probabilístico aleatorio, se determinó la probabilidad de inclusión de las viviendas abordadas en la muestra, asegurándose la selección representativa con la finalidad de obtener datos confiables sobre el comportamiento del consumo horario, estructurándose la metodología que garantiza la validez de los resultados y facilita la interpretación de los hallazgos en función de la realidad [24].

### 3.3 Población del estudio y tamaño de la muestra

#### 3.3.1 Población

Para el estudio, se identificó la población de Machachi con base en los registros de conexiones domiciliarias de agua. La información de la (Empresa Pública Municipal De Agua Potable, Alcantarillado Y Generación Eléctrica Del Cantón Mejía EPAAGE) EPAAGE indicó el número de usuarios conectados y la cantidad de medidores instalados. Se analizó la cobertura del servicio y la capacidad del sistema de distribución frente a la demanda real del recurso.

Estableciéndose que Machachi cuenta con tres redes principales de distribución, correspondiéndose a los sectores de Machachi, Aloasí y Tucuso, identificándose un total de 980 medidores registrados en todas las redes. Determinándose que en la red de Machachi abasteciéndose a 7.695 usuarios, en la red de Aloasí registrándose 1,280 usuarios y en la red de Tucuso contabilizándose 720 usuarios, estableciéndose que la cantidad total de conexiones domiciliarias permitiendo evaluar el consumo horario a través de mediciones directas en distintos puntos de la ciudad, identificándose variaciones en la demanda y analizándose patrones de uso en función de la ubicación y las características socioeconómicas de los habitantes [6].

#### 3.3.2 Muestra

Se aplicó un muestreo probabilístico para calcular el tamaño de la muestra mediante la fórmula indicada (1). Se utilizó un margen de error del 5% y un intervalo de confianza del 95%. Esto permitió garantizar que los resultados representaran de forma adecuada la tasa de consumo en Machachi.

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

En donde:

n = tamaño de la muestra

Z = parámetro estadístico que se usa de acuerdo al nivel de confianza que se tiene, en este caso el 95%, su valor equivalente es 1.96

N = total de los residenciales que tienen acceso a agua potable

p = porcentaje de ocurrencia, considerando un V = 0.50

q = porcentaje de no ocurrencia, estableciéndose un valor de 0.50

e = margen de error, en este caso se aplica un 5%

Se determinó el número de viviendas incluidas en la muestra a partir del cálculo previo. Esto aseguró una representación adecuada de la población. Se implementó un plan de mediciones para obtener datos reales sobre el consumo horario en Machachi. Los resultados revelaron la demanda real de consumo en la ciudad.

La razón del tamaño muestral se relaciona con el uso de agua en Machachi. Previamente, se identificó el volumen de los medidores instalados. Se aplicó un muestreo representativo al conglomerado correspondiente, con un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%. Esto garantiza que los datos obtenidos representen adecuadamente la realidad del consumo en la ciudad.

**Tabla 2**

*Muestra por cada red de distribución en Machachi*

<b>Red de Distribución</b>	<b>Muestra (n)</b>
<b>Red Machachi</b>	30 muestras
<b>Red Aloasí</b>	30 muestras
<b>Red Tucuso</b>	30 muestras

Fuente: (Guanolema, 2025)

### 3.4 Procesamiento y análisis de datos

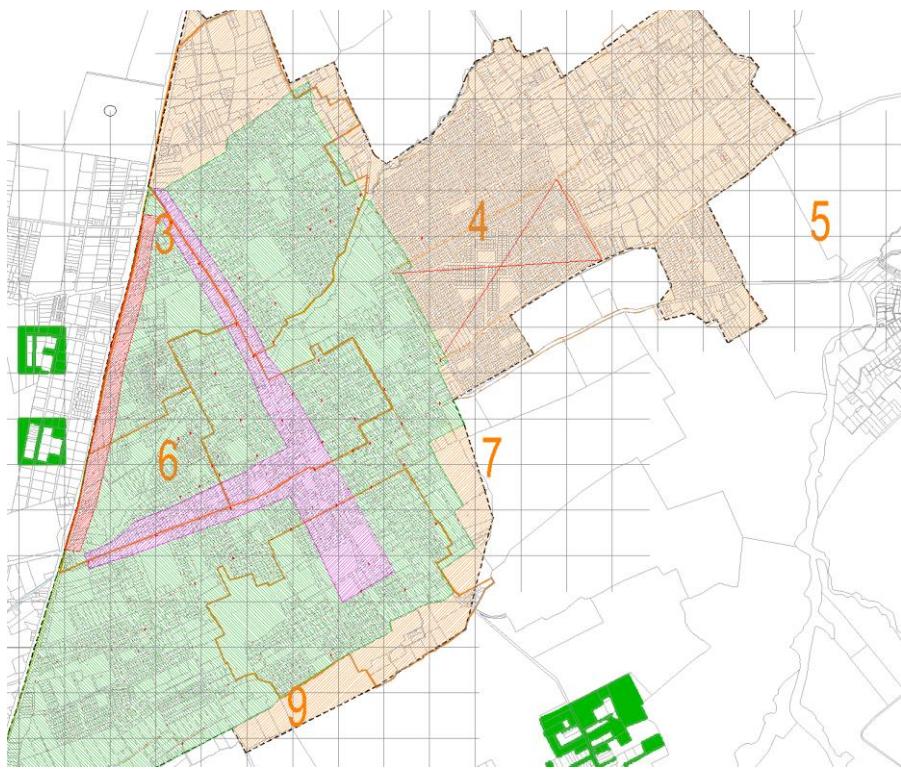
#### 3.4.1 Procesamiento y análisis de datos para la caracterización urbanística

Al revisar las tres redes de distribución de Machachi, se analizaron variables como el número de hogares conectados, tipo de infraestructura y condiciones de las calles. También se consideró el número de pisos por edificio y la disponibilidad de servicios básicos. Se identificaron diferencias en la estructura urbana de cada sector y se evaluó su impacto en el consumo de agua potable.

Se aplicó la metodología propuesta por [24] en la cual cada parámetro es puntuado. Con ello, se calculó la estratificación socioeconómica predominante en cada red de distribución. Se emplearon técnicas estadísticas para su evaluación. Los datos fueron organizados en Microsoft Excel para facilitar el procesamiento de la información. Esto permitió analizar visualmente los cambios en las características urbanas en relación con la accesibilidad hídrica.

El propósito general fue verificar los patrones de consumo en Machachi. Se realizó un análisis detallado para establecer la correlación entre el consumo de agua, la estructura urbana y la situación socioeconómica de los residentes. Los resultados se ilustran en la *Figura 4* la zona

rosa representa el área comercial; la verde, la zona residencial; la roja, la zona industrial; y la naranja, la delimitación del área urbana.



**Figura 4** Estructura Urbana de Machachi

**Fuente:** EPAGEE 2025

Se analizaron aspectos de la estructura urbana de Machachi, como la distribución de viviendas en relación con la provisión de servicios básicos, los tipos de edificaciones y el estado de la infraestructura vial. Estos factores no solo permiten distinguir entre áreas urbanas y rurales, sino también desarrollar una estratificación socioeconómica que define las condiciones urbanísticas del área.

Se aplicó un muestreo aleatorio de manzanas en cada una de las tres áreas abastecidas con agua potable. Se registraron parámetros relevantes en los cuatro lados de cada manzana seleccionada. El número total de ventanas fue dividido por dos para determinar el estrato socioeconómico dominante por área de muestra. El mapa de clasificación generado facilita el análisis de los datos y su correlación con el consumo de agua en la ciudad.

La puntuación establecida en la Tabla 3 evidencia la capacidad de controlar la distribución de agua en áreas urbanizadas, lo cual se logra mediante medidas como la altura de observación, el nivel de acceso y el uso del contorno urbano. Estos factores permiten dividir la región urbana en distritos con distintos patrones de consumo, lo que requiere un enfoque de planificación del desarrollo diferenciado.

**Tabla 3***Puntuación para la categorización de las manzanas en Machachi*

RANGO	CATEGORÍA	ESTRATO SOCIOECONÓMICO
<b>≥300</b>	A	De ingresos muy altos
<b>299-200</b>	B	De ingresos superiores al promedio
<b>199-100</b>	C	De ingresos inferiores al promedio
<b>≤99</b>	D	De ingresos muy bajos

Fuente: (Arellano et al., 2012)

Al revisar la estructura socioeconómica y urbana de Machachi, las muestras seleccionadas aleatoriamente fueron clasificadas según criterios urbanísticos, nivel de servicios e infraestructura desarrollada. Esto permitió identificar diferencias entre áreas con alta y baja infraestructura zonal. El consumo de agua ayudó a definir zonas de actividad económica con características urbanas diferenciadas.

Posteriormente, el análisis se complementó con una encuesta aplicada en hogares dentro de las manzanas muestreadas. Se recopiló información detallada sobre la economía doméstica, con énfasis en el consumo de agua comparativo y el ingreso familiar promedio. Las puntuaciones obtenidas fueron evaluadas frente a la clasificación presentada en la Tabla 4.

**Tabla 4***Puntuación para la categorización según encuestas en Machachi*

PUNTAJE	CATEGORÍA	ESTRATO SOCIOECONÓMICO
100-81	A	Alto
80-61	B	Medio Alto
60-31	C	Medio Bajo
30-0	D	Bajo

Fuente: (Arellano et al., 2012)

Durante el trabajo de campo, se realizó un seguimiento a las viviendas seleccionadas para el estudio. La muestra fue definida de forma representativa según la red de distribución de agua potable a la que pertenecía cada predio. Las mediciones efectuadas aseguraron un registro preciso del consumo horario en Machachi.

### 3.4.2 Medidas horarias volumétricas de agua potable

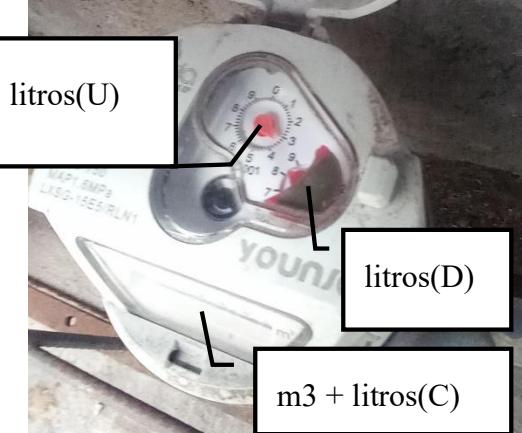
Se registraron datos volumétricos de agua en 30 medidores por red, utilizando una plantilla estandarizada. Las mediciones fueron continuas (24 horas/día, 7 días/semana) en Machachi. Los resultados precisan la variación horaria del consumo, identificando patrones de demanda.

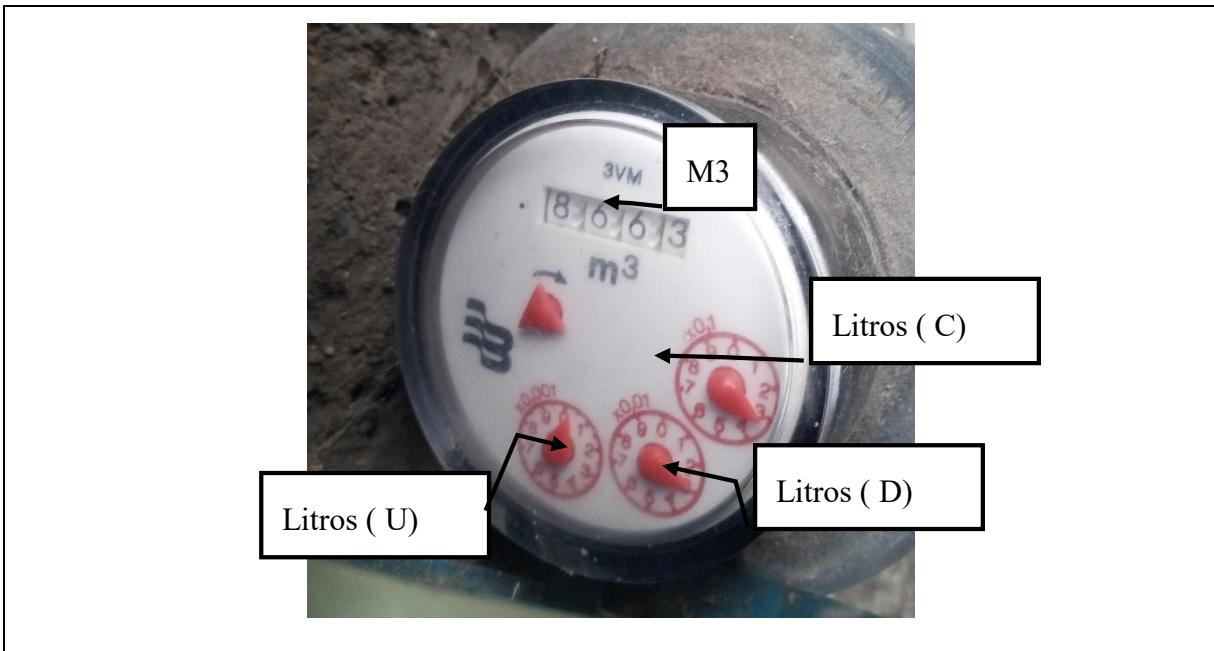
La selección se limitó a medidores de viviendas sin tanque de reserva, lo que asegura que las fluctuaciones reflejen la demanda inmediata del usuario y que el método captura el uso real de agua en tiempo real.

### 3.4.3 Equipo de Medición Utilizado en el Flujo de Agua

En el sitio se constató que los dispositivos predominantes en Machachi son medidores SAGA de  $\frac{1}{2}$  pulgada de chorro múltiple y pantalla inclinada a  $45^\circ$ . También se observó la instalación de otros tipos y marcas de medidores.

Las mediciones se registran en metros cúbicos y litros. Los dígitos negros indican la lectura en  $m^3$ , mientras que los dígitos rojos muestran el consumo en litros. Sobre esta base, se diseñó un enfoque sistemático para la recolección uniforme de datos en todos los hogares. Se evaluaron varios tipos y marcas de medidores, como se detalla en la Tabla 5.

MEDIDOR YOUNSO	MEDIDOR SAGA
	
MEDIDOR AZTECA	



**Tabla 5:** Medidores instalados en la ciudad de Machachi

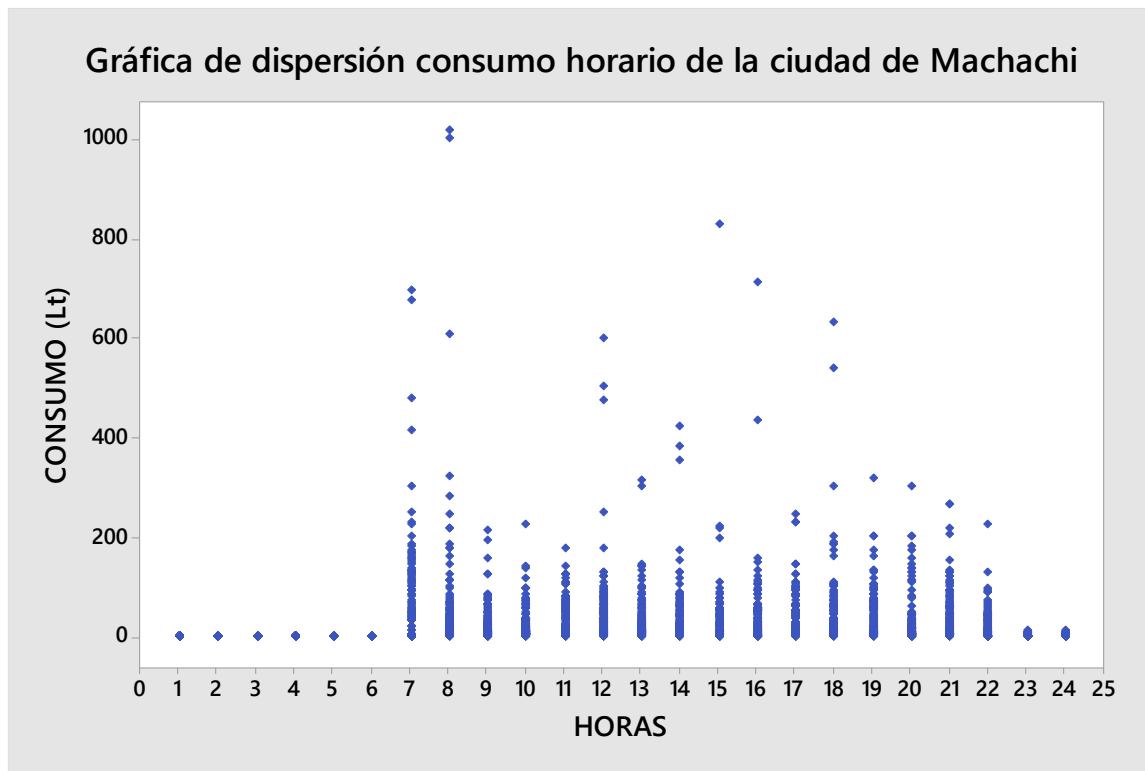
### 3.5 Procesamiento y Análisis Estadístico

#### 3.5.1 Compilación de Datos Inicial

La lectura se realizó de forma continua durante 24 horas, por siete días consecutivos, en todas las redes de suministro de agua potable en Machachi, registrando los volúmenes de consumo en 30 medidores por cuadrícula, lo que aseguró la recolección de datos representativos del uso horario del recurso en toda la zona.

Analizándose los registros obtenidos, identificándose patrones en la demanda de agua a lo largo del día, diferenciándose los consumos según los distintos sectores y estableciéndose variaciones en función de factores como el horario, la densidad poblacional y la infraestructura de cada zona, determinándose momentos críticos de alta y baja demanda que permitiendo optimizar la planificación del abastecimiento.

Revisando los datos obtenidos y analizando los posibles desperdicios y escases en horarios específicos, el servicio necesita mejoras y reajustes en las disponibilidades servicio, aplicando mejoras y mantenimientos preventivos para generar una mejor calidad de agua y mejorar la calidad de vida de los usuarios.



**Figura 4** Diagrama de dispersión del consumo horario de agua en Machachi

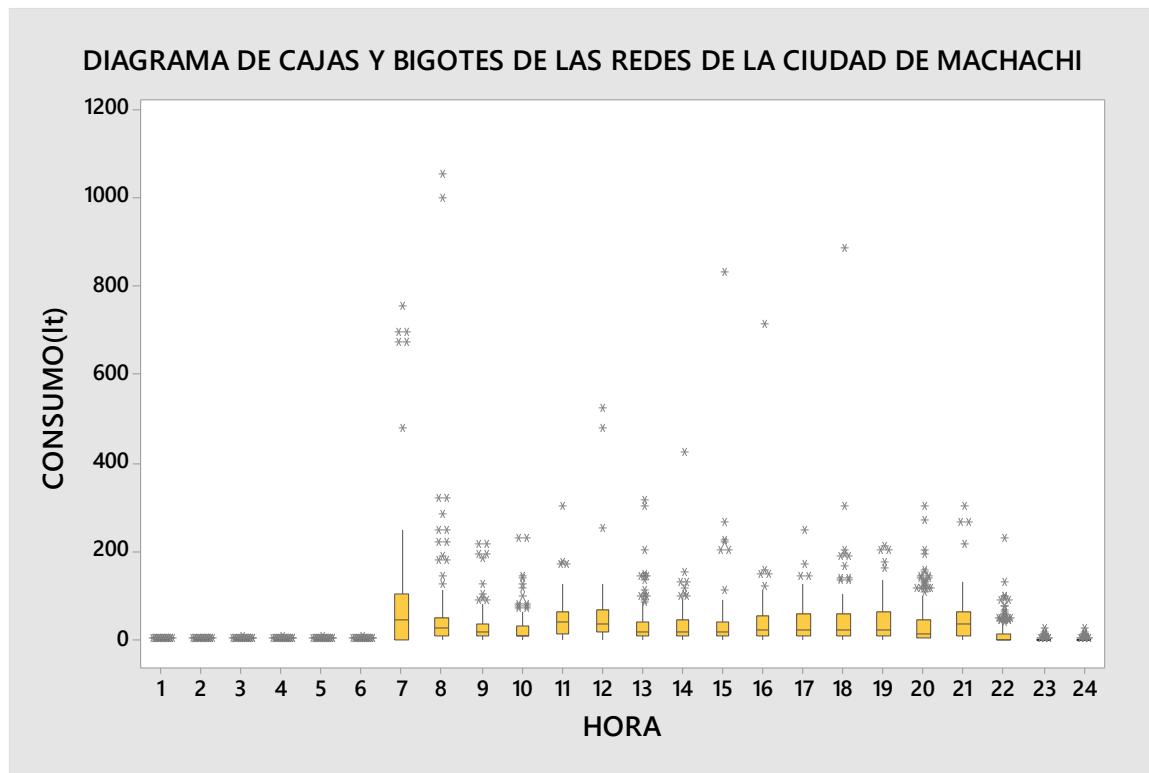
Fuente: (Guanolema 2025)

En la *Figura 4* se observa el consumo de agua en función de las horas del día. Se identifican picos y mínimos característicos de la demanda. La dispersión refleja la variabilidad asociada al comportamiento rutinario de la población. Además, muestra la efectividad de las medidas de planificación y los ajustes realizados según esos patrones.

### 3.5.2 Validación de Datos

Realizándose la validación de los datos recopilados en campo, utilizándose herramientas estadísticas (Minitab 18) para el análisis de la variabilidad en el consumo horario en Machachi, estructurándose diagramas de cajas y bigotes que permitiendo visualizar la dispersión de los valores registrados en cada una de las redes de distribución, identificándose tendencias y descartándose valores atípicos que no reflejando el comportamiento real del uso del recurso.

Mediante el análisis de cuartiles, se ha seleccionado los datos más importantes del cuartil Q3, garantizando que los valores arrojados por cada hora son relativamente precisos sobre el consumo de agua residencial, analizando así exhaustivamente los patrones que rigen el consumo diarios y factores que determinan su eficiencia *Figura 5*.



**Figura 5** Diagrama de cajas y bigotes del consumo horario en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

En la *Figura 5*, el gráfico muestra la variabilidad del consumo de agua en ciertos períodos del día. Se identificaron valores centrales y rangos intercuartílicos, determinando picos y valles de demanda para cada distrito cubierto. Se garantizó la confiabilidad de la información utilizada en el análisis estadístico, asegurando su representatividad para el comportamiento del consumo en la ciudad

### 3.5.3 Caudal Medio

Considerando el consumo diario promedio de agua potable por persona, el caudal medio se calcula dividiendo el volumen total consumido entre el número de horas. Esto se expresa en la ecuación 2:

$$Q_{med} = \frac{\sum Q_h}{24} \quad (2)$$

Donde:

- $Q_{med}$  = Caudal medio
- $\sum Q_h$  = Suma del agua consumida en 24 horas

El conjunto de datos se emplea para rastrear patrones en el consumo de recursos y sirve como punto de referencia para evaluar la capacidad de servicio en la entrega, lo que ayuda a identificar cambios en las necesidades de servicio durante distintos momentos del día.

### 3.5.4 Caudal de Fugas de Fondo Dentro del Sistema

Aceptando cierto nivel de ineficiencia en la red de distribución, el caudal de fuga de agua de fondo se registra como un porcentaje bajo del caudal medio definido. Se sabe que este porcentaje aumenta durante períodos de bajo uso general debido a fugas físicas no medidas dentro del sistema.

De acuerdo con los criterios propuestos por la Asociación Internacional del Agua (IWA) y utilizando la ecuación 3:

$$Q_{fondo} = 20\% \times Q_{med} \quad (3)$$

Donde:

- $Q_{fondo}$  = Caudal de fondo de fugas
- $Q_{med}$  = Caudal medio

El indicador se evalúa para determinar el volumen de agua que se pierde constantemente en la red. Esto tiene como objetivo establecer estrategias de mitigación que optimicen la eficiencia del sistema. Así se reduce el desperdicio dentro de la infraestructura de distribución en Machachi.

### 3.5.5 Coeficiente de variación del consumo horario (Kh)

La variación del consumo para cada hora se analiza a través del cálculo del coeficiente de variación del consumo horario (Kh) y se determina en relación con el caudal promedio registrado en la ciudad, utilizando las bases definidas en la Norma [26] la cual sugiere que este coeficiente debe estar entre 2.0 y 2.3.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar este coeficiente como se verifica en la ecuación 4:

$$kh = \frac{Qh}{Q_{med}} \quad (4)$$

Donde:

- $Kh$  = Coeficiente de variación de consumo horario
- $Q_{med}$  = Caudal medio
- $Qh$  = Caudal registrado en cada hora

El coeficiente se analiza en términos del nivel de servicio del sistema de suministro, es decir, cómo funciona en varias partes de la ciudad. Además, se elaboran planes para mejorar la distribución del recurso y aumentar el nivel de servicio en función de la demanda horaria en Machachi.

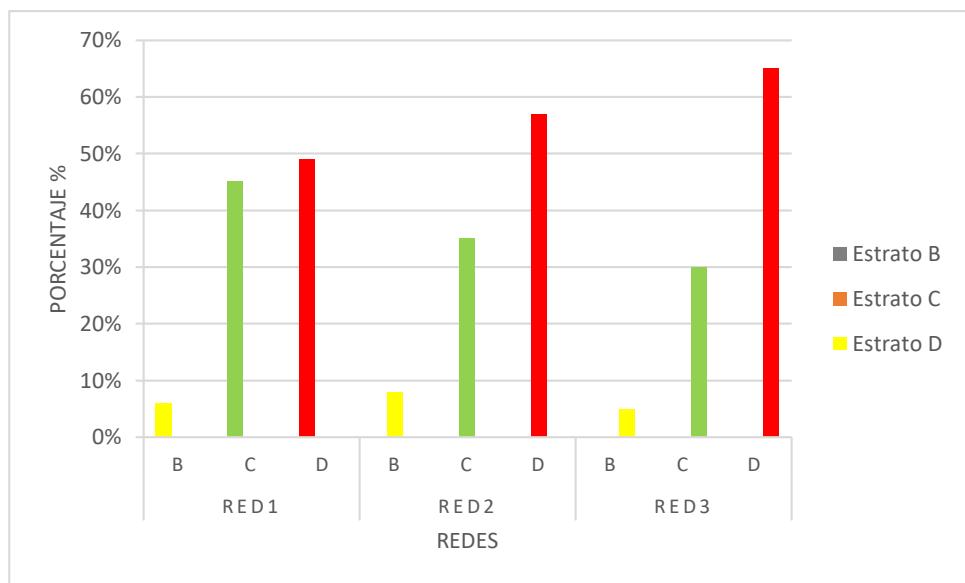
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Principales factores que impactan el consumo de agua potable

#### 4.1.1 Estratificación

Existe estratificación socioeconómica en Machachi, diferenciada por niveles de ingresos, tipos de ocupación y educación alcanzada por sus residentes. Caracterizando la ciudad, las personas en los grupos C y D dominan el asentamiento urbano, lo cual es evidente por el acceso a servicios básicos, como el suministro de agua potable. El vínculo entre el estatus socioeconómico y el consumo de agua es importante para analizar las rutinas y el recurso que representa el agua para cada área; así se comprende hasta qué punto la condición económica determina la necesidad de este servicio.

El agua en Machachi se distribuye a través de tres redes diferentes, que presentan diferencias en la composición socioeconómica de sus localidades C y D. Las disparidades en la distribución poblacional permiten entender el consumo de agua, el nivel de infraestructura de almacenamiento y el uso de servicios sanitarios al interior de las viviendas. La Figura 6 muestra los resultados obtenidos de manera proporcional, luego de un análisis de cada grupo del abastecimiento de agua en la ciudad.



**Figura 6** Distribución de estratos socioeconómicos en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

En la Red Machachi (red 1) se observa que la mayoría de los hogares pertenecen al estrato C (45%), seguidos por el estrato D (49%), mientras que el estrato B presenta la menor cantidad de unidades (6%). En esta área predomina un nivel socioeconómico medio bajo, compuesto por empleados públicos y técnicos profesionalmente capacitados.

En la Red Aloasí (red 2) se observa una dominancia del estrato D, con un 57%, seguido por el estrato C con un 35% y el estrato B con poco más del 8%. También, como en la mayoría de las redes, se encontró un gran número de hogares con características de bajo nivel socioeconómico, dedicados al comercio o al trabajo informal.

La red de Tucuso (Red 3) se observa una mayor cantidad de vivienda clasificadas en el tipo D con un 65%, el estrato C tiene un valor de 30% de viviendas, y como últimos tenemos al estrato B con 5% notablemente es menor al igual que las otras redes, se establece que los problemas económicos del sector están relacionados a la falta de empleo y trabajo informal.

Al relacionar estos resultados con los dos análisis anteriores, se propuso que las áreas con mayor porcentaje de edificios categorizados en el estrato D presentan la mayor variabilidad mensual. En la siguiente Tabla, como se muestra en la Tabla 6, se ilustra la detección de estos estratos en 90 casas analizadas.

**Tabla 6**  
*Distribución de estratos socioeconómicos en Machachi*

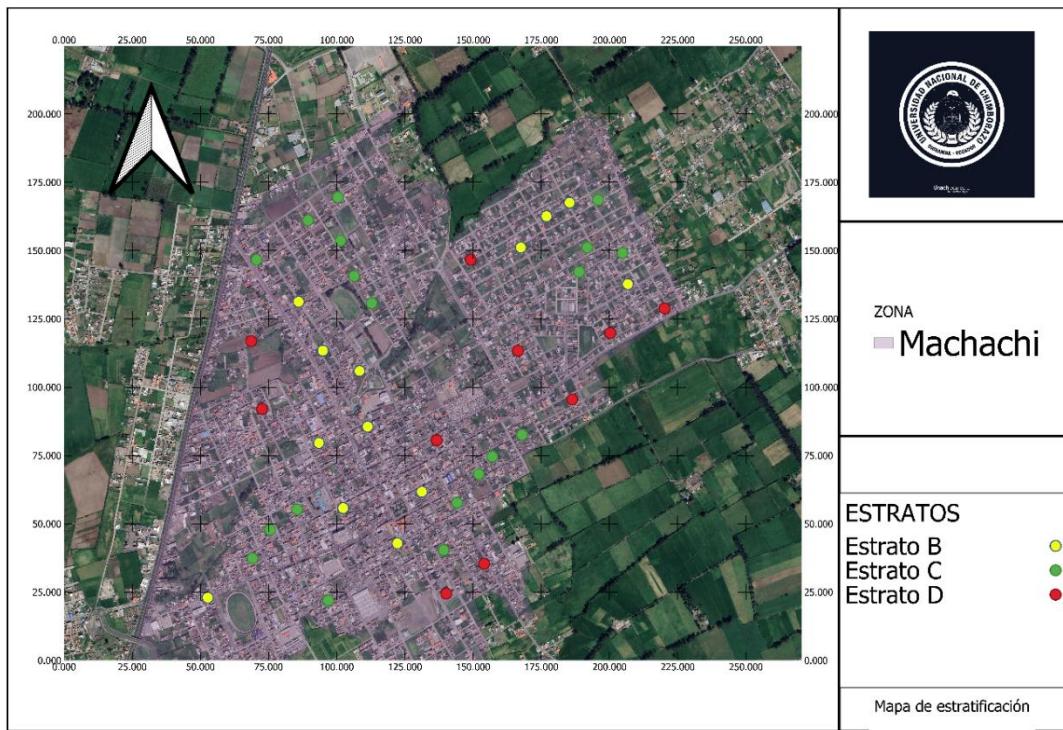
<b>Redes De distribución</b>	<b>Estrato B</b>	<b>Estrato C</b>	<b>Estrato D</b>	<b>Viviendas</b>
<b>Machachi</b>	6	13	11	30
<b>Aloasí</b>	8	10	12	30
<b>Tucuso</b>	5	9	16	30
<b>Total</b>	19	32	39	90

*Fuente: (Guanolema, 2025)*

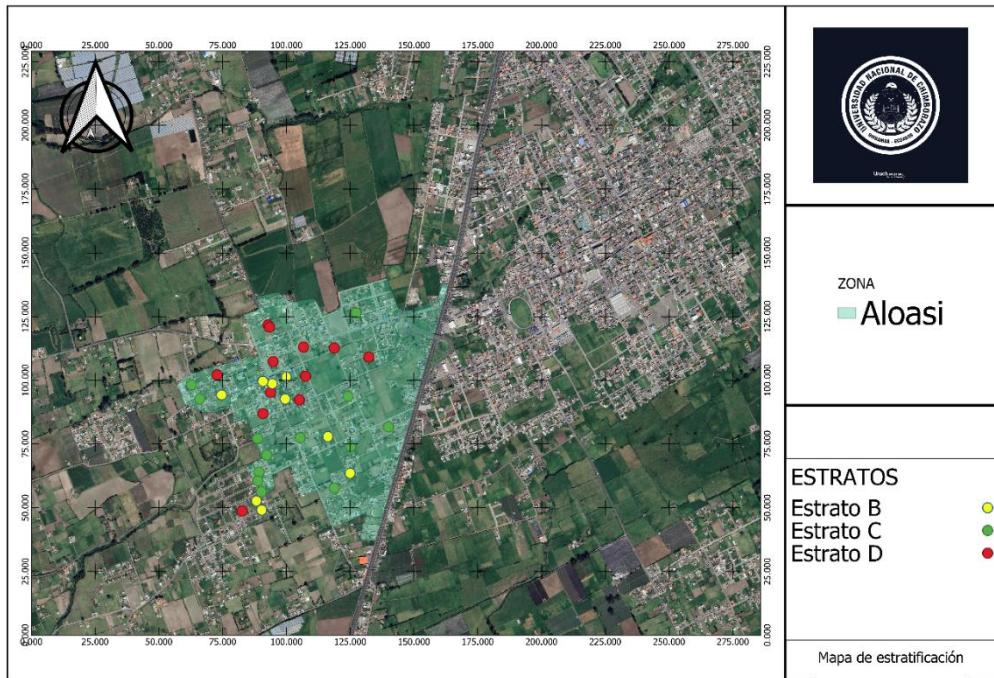
El estudio socio económico y la distribución de estratos en Machachi, relaciona que gran parte de la población esta agrupada en el estrato D, este grupo se denomina de bajos recursos por su posición socioeconómica baja, debido a la deficiencia en el trabajo y acceso a una posición alta,

Los factores que aplican un bajo costo de vida inciden en la negativa al acceso económico, esto limita el posible mantenimiento de la infraestructura de la red. Evidenciando un déficit en el registro de consumo debido a los fallos que existen al momento de dotar agua en los distintos sectores residenciales afectando gravemente a los sectores más sensibles de la población.

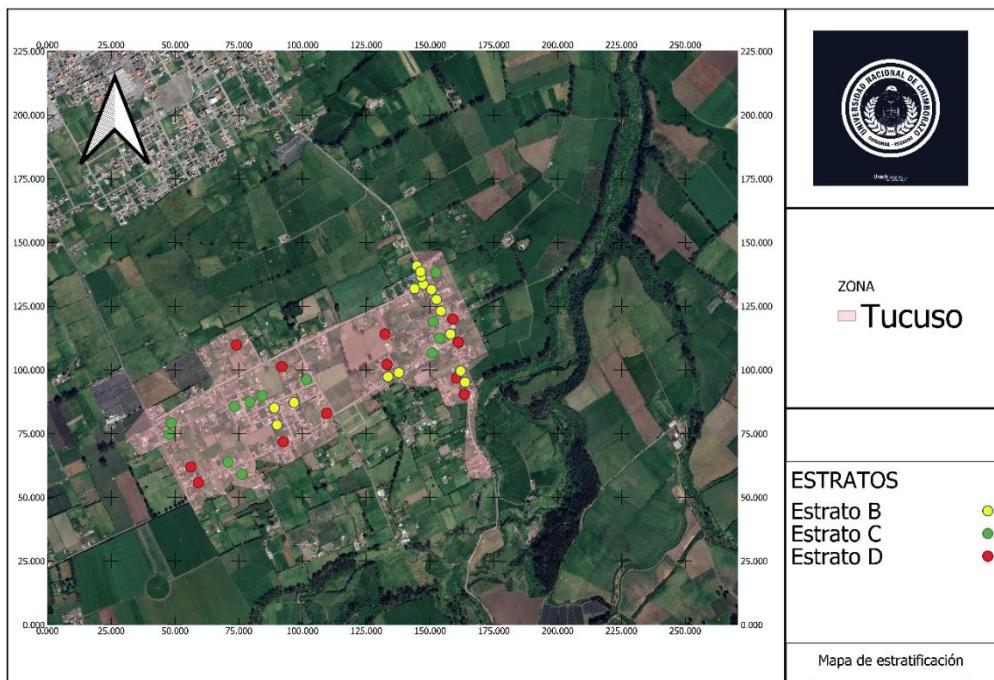
El consumo del recurso hídrico en las residencias es dependiente de las fuentes de captación, existen sectores vulnerables que tomo como alternativas el uso y consumo de fuentes como lagos o ríos, acortando costos de servicio y afectando gravemente al desarrollo de impacto social en el ámbito de cumplimiento de las necesidades básicas de la ciudad de Machachi



**Figura 7** Identificación de medidores de estratos en la Red Machachi  
Fuente: (Guanolema, 2025)



**Figura 8** Identificación de medidores de estratos en la Red Aloasí  
 Fuente: (Guanolema, 2025)



**Figura 9** Identificación de medidores de estratos en la Red Tucuso  
 Fuente: (Guanolema, 2025)

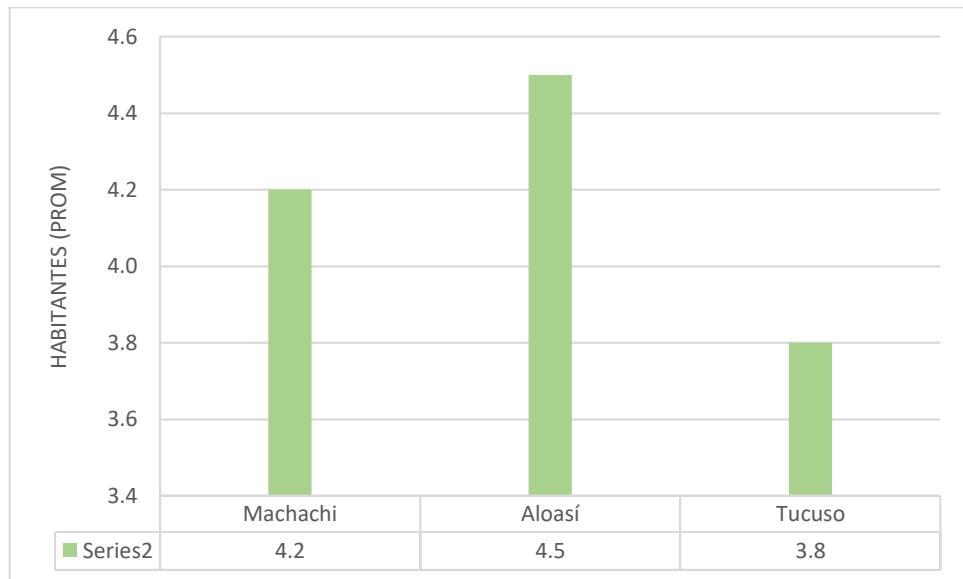
#### 4.1.2 Cantidad de habitantes por vivienda

El número de personas que habitan en una unidad de vivienda influye directamente en la demanda de agua potable. El consumo es proporcional al número de residentes. A mayor número de personas, aumenta el consumo y el uso diario de agua. Esto impacta la gestión de los recursos hídricos y la estrategia de asignación en la ciudad, especialmente en áreas de alta densidad poblacional.

El estudio de redes de abastecimiento en Machachi presenta varias fallas al sistema integrado de distribución, como el incremento notable de población por lo tanto un aumento del número de habitantes por vivienda, presentando así una variación en el concepto de vida y su distribución familiar lo cual genera cambios en los patrones de consumo influyendo el estilo de vida, tiempo, actividades y costumbres de cada familia.

Para un correcto análisis mediante el levantamiento de datos tomando en cuenta los factores y variables que generan cambios y fluctuaciones en el consumo deben ser analizados con rigurosidad y así encontrar soluciones que permitan mejoras continuas.

En la *Figura 10* se muestran los resultados obtenidos, indicando la distribución del número de habitantes por vivienda en las redes analizadas.



**Figura 10** Promedio de habitantes por vivienda en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

En la *Figura 10* se evidencia que el análisis de la cantidad de personas por hogar en Machachi reflejó diferencias en la composición familiar dentro de las redes de distribución de agua potable. En la Red Machachi, el promedio de ocupantes por vivienda fue de 4.2 personas. La distribución es equitativa en casi todos los sectores residenciales domésticos, revelando núcleos firmes de familias padres e hijos.

Existe un promedio 4.5 habitantes por vivienda en la red de Aloasí lo que revela que existen mayor cantidad de familias con núcleos grandes extendiéndose a familiares secundarios como abuelos o nietos, generando así mayor consumo por vivienda a comparación de zonas más centraditas donde solo existe un núcleo familiar firme.

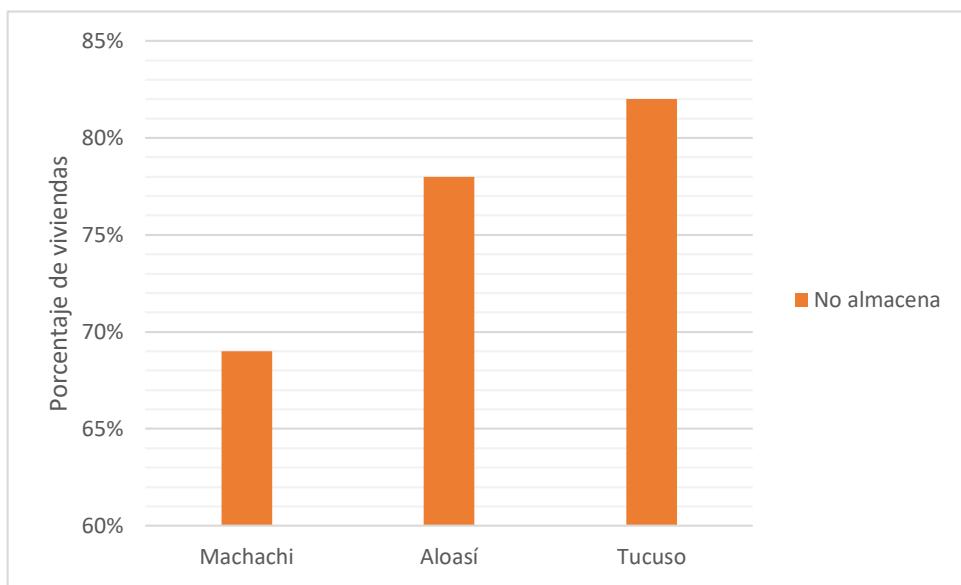
Se puede evidenciar un bajo número de habitantes por vivienda en la red de Tucuso, debido falta de viviendas y personas en el sector, la cantidad baja de personas puede deberse a la falta de dinero y acceso a casas más grandes, la migración a distintas partes del país. Al ser una ciudad cercana a la capital es entendible que las personas busquen más oportunidades por lo cual abandonan el hogar por busca de nuevos ingresos. Las variaciones son semejantes en cada grupo o sector donde depende de la necesidad de cada familia.

#### 4.1.3 Almacenamiento de agua en las viviendas

El uso de torres de agua, cisternas y otros sistemas de almacenamiento refleja cómo la población responde a las condiciones prevalecientes de suministro. La capacidad de almacenamiento inactiva depende no solo de la asignación del recurso, sino también de las

condiciones económicas, sociales e infraestructurales que permiten la inversión en dichos sistemas.

A continuación, se presentan los datos obtenidos en el estudio que analiza el porcentaje de casas con algún tipo de sistema de almacenamiento en cada una de las redes de distribución en Machachi en donde se evidencian diferencias entre las áreas, basadas en sus patrones de consumo, como se muestra en la *Figura 11*.



**Figura 11** Porcentaje de viviendas con reserva de agua potable

Fuente: (Guanolema, 2025)

La Figura 11 expone el análisis de la capacidad de almacenamiento de agua potable en las viviendas de Machachi en donde se reveló una marcada diferencia en la forma en que los hogares gestionan su acceso al recurso.

La red de Machachi, tiene un 31% de personas que disponen de algún tipo de sistema de almacenaje de agua, lo cual verifica la necesidad de la población de cubrir en su totalidad la dotación, y evitar cortes o escases del mismo, evidenciando que la mayor parte de la población consume directamente el líquido vital de la red.

Contrario a la afirmación de Aloasí, donde solo el 26 % de los hogares cuentan con tanques de almacenamiento, la mayoría de las casas presenta fachadas con bloques vistos.

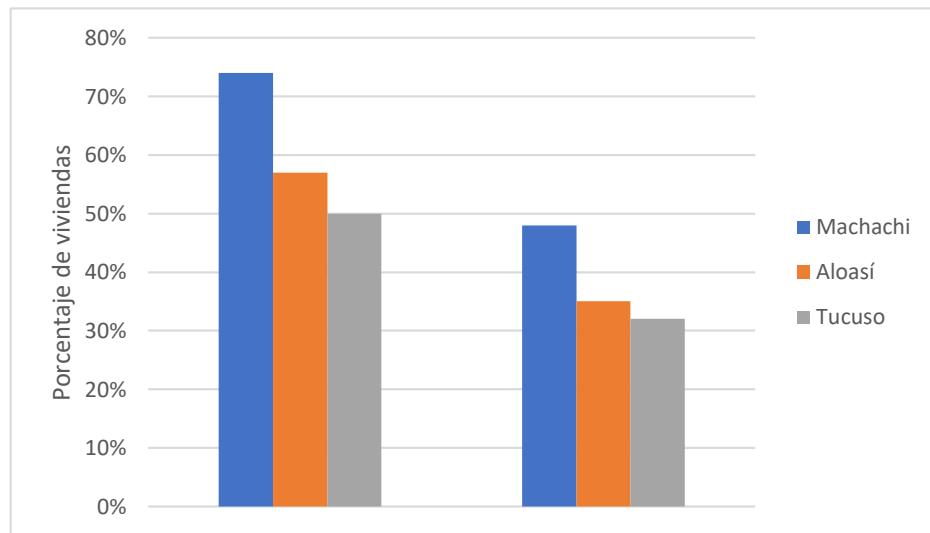
En la Red Tucuso, el almacenamiento de agua potable es aún más limitado, ya que solo el 18 % de las viviendas poseen reservorios, mientras que el 82 % restante depende completamente del suministro continuo. Esta situación indica una necesidad urgente de mejorar la infraestructura de almacenamiento, dado que gran parte de la población se encuentra en situación de vulnerabilidad ante cortes o limitaciones en la distribución del recurso.

#### 4.1.4 Infraestructura sanitaria en las viviendas

El tipo de costumbres influye en el consumo de agua potable debido a las necesidades diarias que tiene que cubrir una familia. El número de aparatos sanitarios de y accesorios actúa como principal fuente de consumo hídrico, por ejemplo, Machachi tiene una variación de consumo en cada sector y red lo cual ayuda en gran parte analizar las variables.

Los equipos sanitarios como lavabo, inodoro, bidet, duchas, tanques de agua, lavado de ropa, representan un factor común para el consumo, estos van de la mano con el nivel socioeconómico, tipo de vivienda, calidad de vida. Además, el consumo es mayor en zonas con accesos a equipos sanitarios, a diferencia en zonas donde el acceso es limitado.

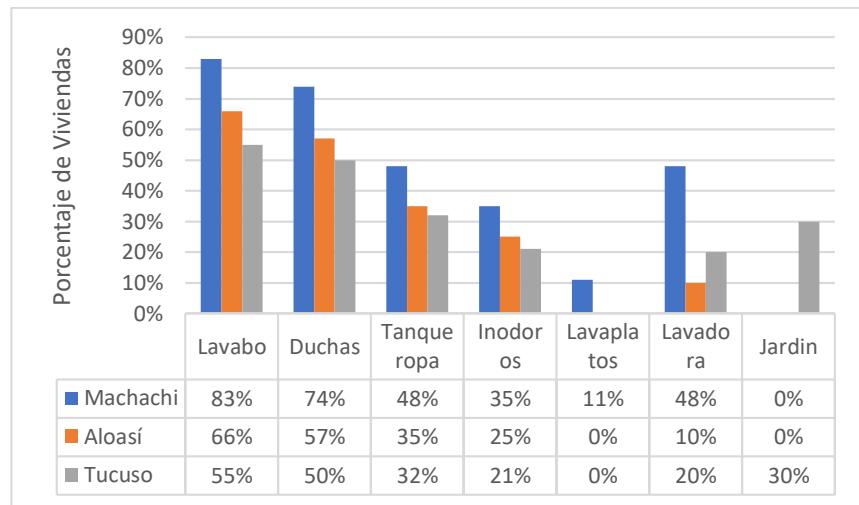
La *Figura 12* ilustra la proyección de la infraestructura sanitaria en cada sector que abastece a Machachi. Esta muestra las diferencias en la infraestructura de las viviendas y el gasto de agua potable demandado.



**Figura 12** Distribución de unidades sanitarias en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

En el área de la Red Machachi, el 83 % de los hogares tienen lavabos, seguidos por duchas con un 74 % y tanques para lavar ropa en un 48 %. En la Red Aloasí, el 66 % de los hogares cuentan con lavabos, el 57 % con duchas y el 35 % con tanques para lavar ropa. En la Red Tucuso, la disponibilidad es del 55 % para lavabos, 50 % para duchas y 32 % para tanques para lavar ropa. Los resultados muestran que las instalaciones sanitarias varían entre los sectores, lo que determina la demanda de agua potable en cada red. En la *Figura 13* se observan en detalle las unidades sanitarias de cada red.



**Figura 13** Distribución de unidades sanitarias en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

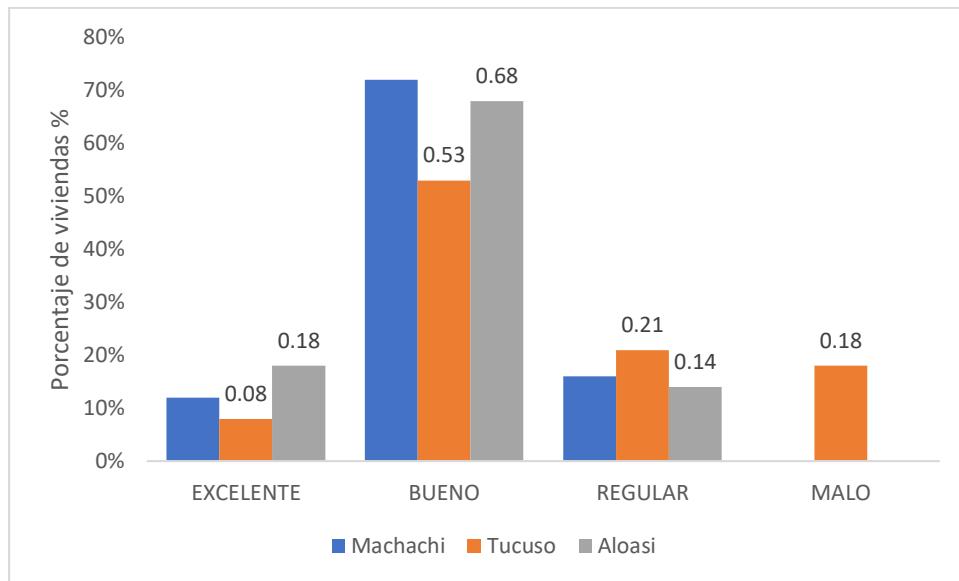
#### 4.1.5 Nivel de servicio

Evaluar la percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio de agua potable en Machachi es fundamental para comprender las condiciones de distribución en cada red de abastecimiento. El análisis de los datos recopilados, mostrados en la Figura 14, permitió identificar que la valoración del servicio varía según el sector, de modo que esto depende de factores como la continuidad del suministro, la presión del agua y la calidad del recurso entregado a los hogares.

La red de Machachi representa un 72% como un servicio de calidad “bueno” mientras que el 12% restante lo tiene como “excelente” y el 16% es “regular” lo que da como resultado que gran parte de los hogares tiene un flujo constante de agua, evidentemente existen déficits en caudales, presión y horarios de distribución

Para la red de Aloasí es semejante a lo descrito en la red de Machachi, donde el 68% considera el agua como “bueno” y el 18% como “excelente” y por ultimo un 14 % lo considera como “regular”, el dato obtenido proporciona información sobre los defectos que tiene la red como periodos prolongados sin dotación y falta de calidad, por lo tanto se determina que la red de suministro es relativamente inferior a la red de Machachi.

Por su parte, en la Red Tucuso se observó una menor satisfacción con el servicio. El 53 % de los usuarios lo considera “bueno”, el 8 % lo califica como “excelente”, el 21 % lo considera “regular” y el 18 % cree que el servicio es “malo”. Esto evidencia que en esta red existen más dificultades en términos de abastecimiento, ya sea por la frecuencia de cortes, la presión del agua o la cobertura del sistema de distribución en ciertos sectores. El nivel tan bajo se atribuye a que la tubería de conducción es de asbesto cemento. La Figura 14 detalla la distribución de la percepción del nivel de servicio en cada una de las redes.



**Figura 14** Nivel de servicio agua potable

Fuente: (Guanolema, 2025)

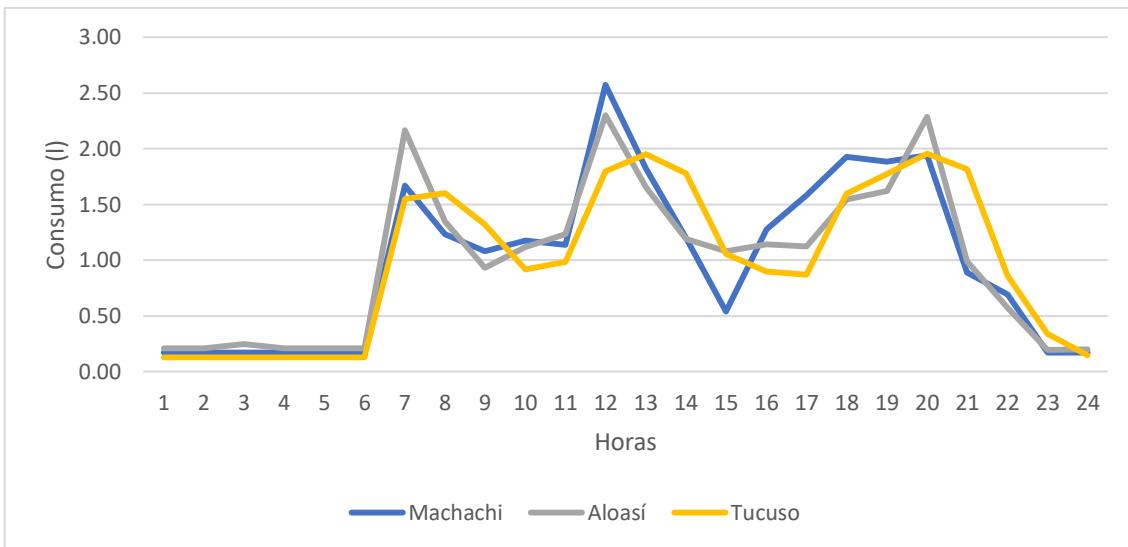
## 4.2 Curvas de consumo horario residencial

### 4.2.1 Consumos mínimos horarios por redes de distribución

El análisis del consumo de agua potable en las tres redes de Machachi se centró en la identificación de franjas horarias con los valores más bajos de demanda, como se muestra en la *Figura 16*. La cantidad de agua consumida en cada red varía según los patrones socioeconómicos y las actividades diarias de los habitantes. Se observaron incrementos y disminuciones a lo largo del ciclo diario, alcanzando un consumo máximo de 104,88 l/h

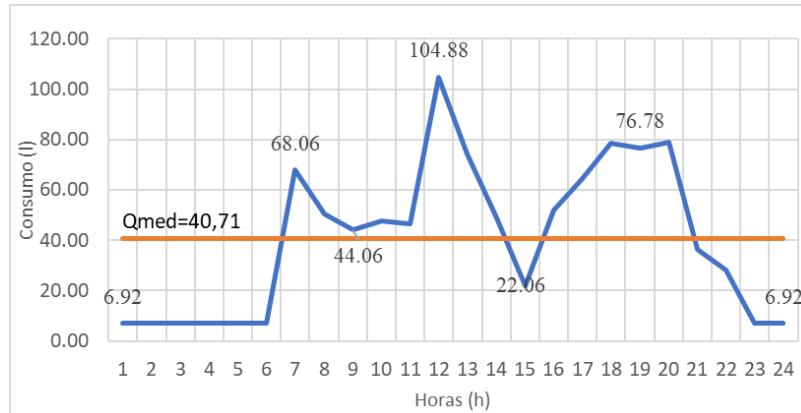
La tendencia en Aloasí es similar a la de las otras redes, con caídas en la demanda durante las primeras horas de la mañana, registrando valores mínimos entre las 03h00 y las 05h00, cuando la actividad doméstica es reducida. Sin embargo, esta red recupera el consumo más rápidamente a lo largo del día, alcanzando un valor máximo de 121 l/h como se observa en la *Figura 17*.

En la Red Tucuso, por otro lado, el consumo comienza a aumentar gradualmente desde las 06h00. El patrón sugiere que la red abastece a una población con hábitos de uso más homogéneos, donde una gran proporción de hogares presenta comportamientos de consumo similares. Se registra un consumo máximo de 145.98 l/h, como se observa en la *Figura 18*.

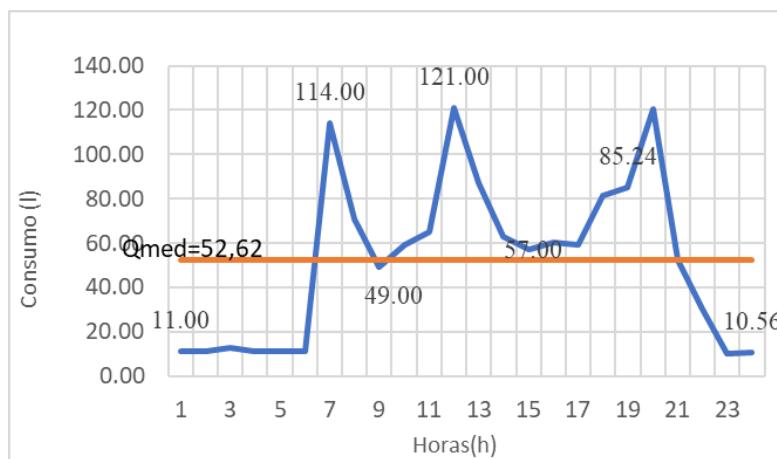


**Figura 15** Comparativa de curvas de consumo horario residencial

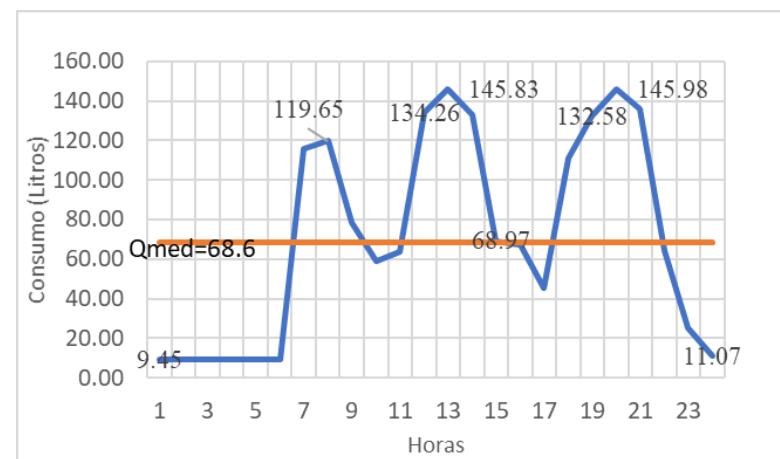
Fuente: (Guanolema, 2025)



**Figura 16** Curva de consumo en la Red Machachi



**Figura 18** Curva de consumo en la Red Aloasi



**Figura 17** Curva de consumo en la Red Tucuso

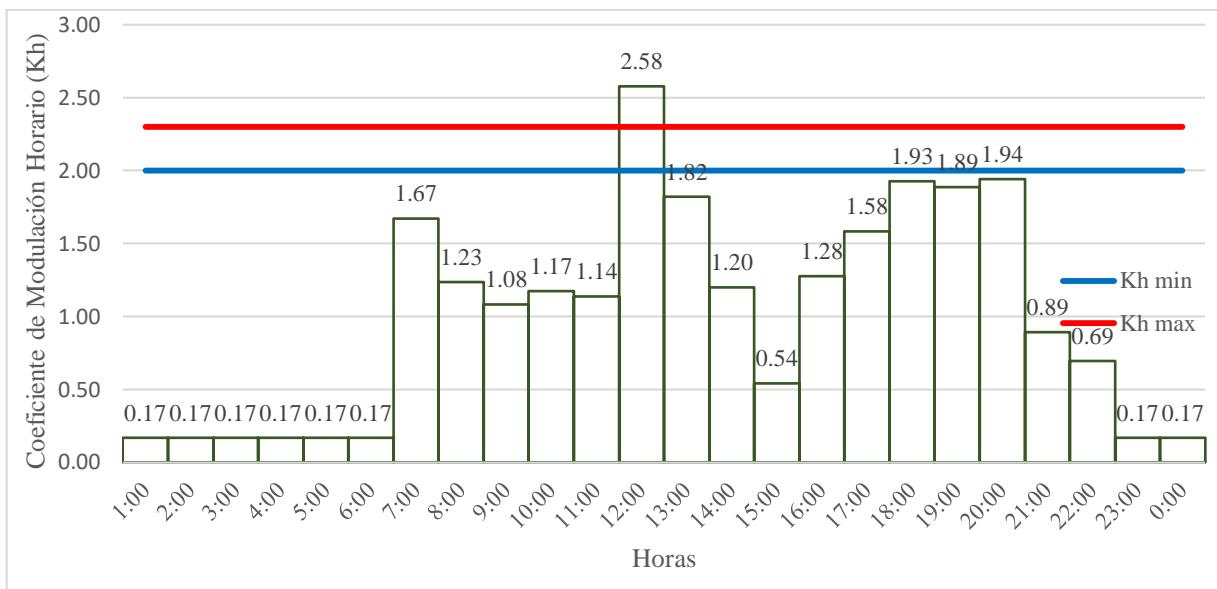
**Tabla 7**  
*Comparación de los consumos horarios de las tres redes*

<b>Hora (h)</b>	<b>Red Machachi (l/h)</b>	<b>Red Aloasí (l/h)</b>	<b>Red Tucuso (l/h)</b>
1:00	6,92	11,00	9,45
2:00	6,92	11,00	9,45
3:00	6,92	13,00	9,45
4:00	6,92	11,00	9,45
5:00	6,92	11,00	9,45
6:00	6,92	11,00	9,45
7:00	68,06	114,00	115,65
8:00	50,27	71,00	119,65
9:00	44,06	49,00	98,65
10:00	47,82	59,00	68,45
11:00	46,34	65,00	73,54
12:00	104,88	121,00	134,26
13:00	74,16	87,00	145,83
14:00	48,79	62,70	132,65
15:00	22,06	57,00	68,97
16:00	51,93	60,12	67,23
17:00	64,52	59,23	45,12
18:00	78,43	81,23	111,24
19:00	76,78	85,24	132,58
20:00	79,12	120,24	145,98
21:00	36,31	52,13	135,76
22:00	28,22	30,20	64,32
23:00	6,92	10,25	25,36
24:00	6,92	10,56	11,07

El análisis del consumo horario de agua potable en las tres redes de Machachi muestra una variación significativa a lo largo del día, entre la 01h00 y 06h00, el consumo se puede decir que es nulo debido al paro de actividades en el hogar, alcanzando en Machachi y Aloasí valores de 6.92 l/h y 11 l/h respectivamente. En Tucuso el consumo es de 9.45 l/h, todos estos valores son bajos debido a la reunión de actividades y el uso de servicios.

#### 4.2.2 Estimación de la curva de modulación horaria

El análisis de la curva muestra que, en las primeras horas de la mañana, el consumo de agua es bajo, incrementándose de manera progresiva a partir de las 06h00. El aumento se mantiene hasta alcanzar su punto máximo al mediodía, momento en el cual la demanda se intensifica debido a actividades de limpieza, preparación de alimentos y uso sanitario en hogares y establecimientos comerciales. Luego de este pico, el consumo presenta una ligera disminución durante la tarde, con oscilaciones moderadas hasta aproximadamente las 19h00, cuando se registra otro incremento, posiblemente asociado al retorno de los residentes a sus hogares y al uso del agua para diversas actividades nocturnas como se observa en la *Figura 19*.

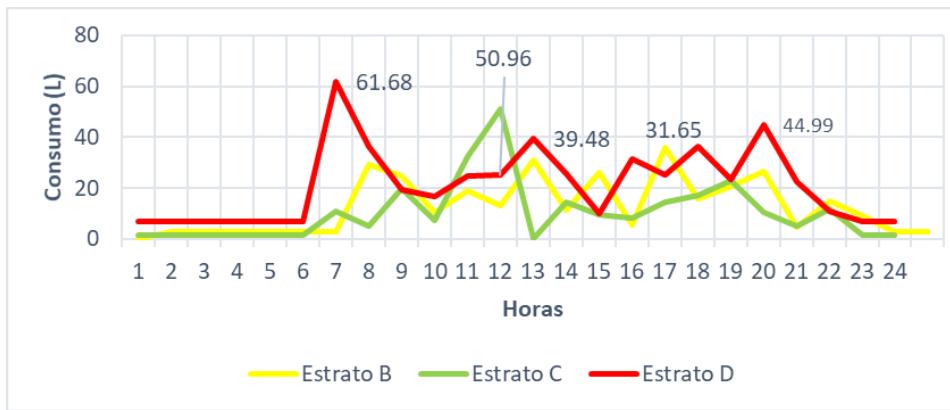


**Figura 19** Curva de modulación horaria residencial Red Machachi

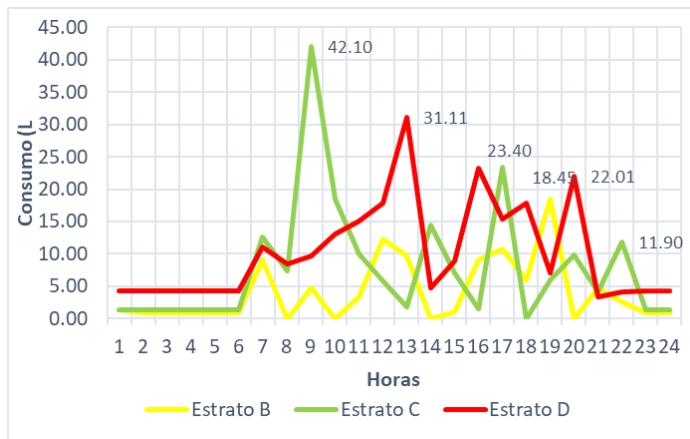
Fuente: (Guanolema, 2025)

#### 4.2.3 Consumo horario residencial por estratos socioeconómicos

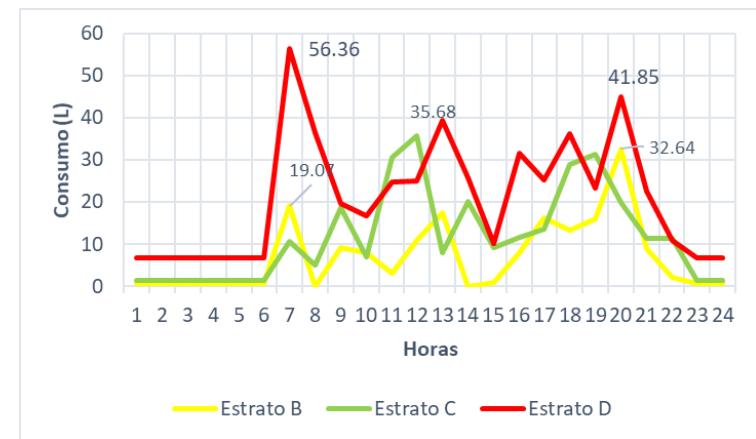
El análisis del consumo horario en las 3 Redes Machachi, Aloasi y Tucuso reflejan una variabilidad significativa entre los distintos estratos socioeconómicos. Durante las primeras horas de la madrugada, el consumo se mantiene elevado en los tres estratos, con un ligero aumento a partir de las 05h00, lo que sugiere el inicio de actividades matutinas. A partir de las 06h00, el Estrato D muestra un incremento considerable en todas las redes alcanzando un pico más alto a las 07h00 y manteniendo una curva con más picos a lo largo de la jornada, se puede observar un mayor uso de agua en ese sector en comparación con los demás estratos debido a la presencia constante en el hogar.



**Figura 20** Curva de consumo horario del estrato Red Machachi



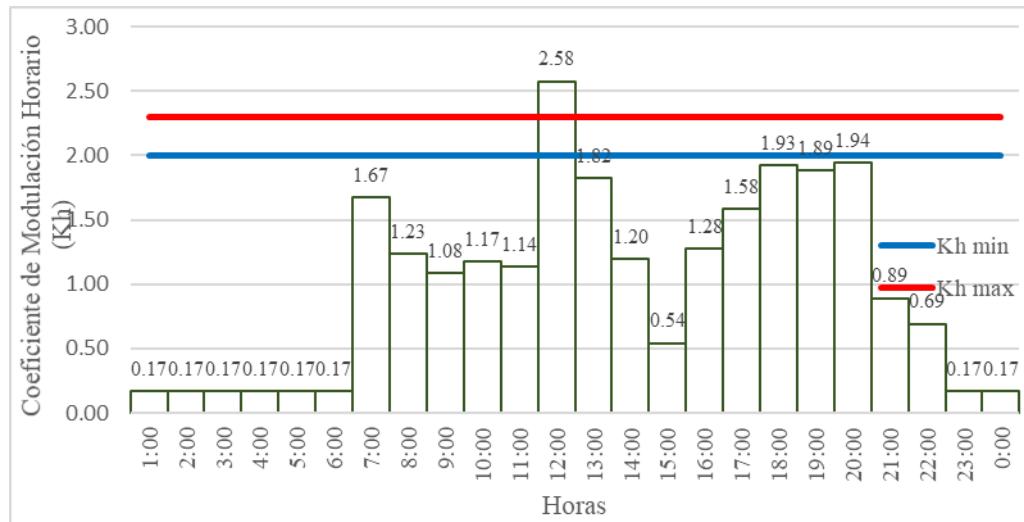
**Figura 21** Curva de consumo horario del estrato Red Aloast



**Figura 22** Curva de consumo horario del estrato Red Tucuso

#### 4.2.4 Coeficiente de consumo por redes

El análisis del coeficiente de consumo horario (Kh) en las redes analizadas de Machachi, Aloasí y Tucuso se muestran en las figuras 23,24,25 respectivamente, donde se refleja una variabilidad notable en la demanda de agua a lo largo del día. Se observan diferencias significativas entre los periodos de menor y mayor, dichos valores deberán ser sujetos a los índices (( Kh min de 2 y Kh máx de 2.3) establecidos por la normativa[26].



**Figura 23** Coeficiente de consumo horario Red Machachi

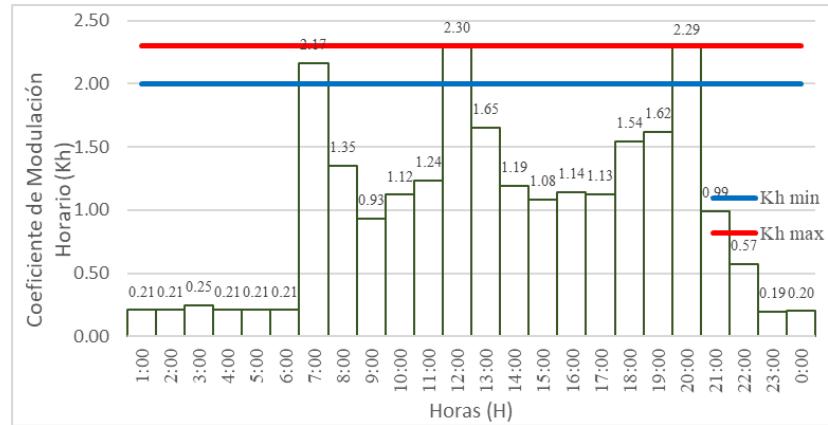


Figura 24 Coeficiente de consumo horario Red Aloasí

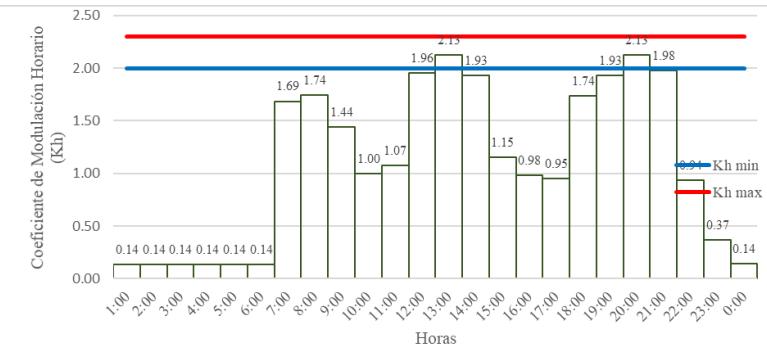


Figura 25 Coeficiente de consumo horario Red Tucuso

#### 4.2.5 Comparativa de coeficiente de variación del consumo máximo horario de Machachi

La evaluación del consumo horario en las distintas redes de distribución de Machachi permitió identificar patrones significativos de variabilidad en la demanda de agua potable. Se analizó la fluctuación de los coeficientes de consumo en relación con la normativa ecuatoriana [26], la cual establece rangos de referencia para el coeficiente de modulación. La comparación con estos valores normativos facilita determinar si la infraestructura y la capacidad de abastecimiento son adecuadas para satisfacer la demanda en los momentos críticos del día.

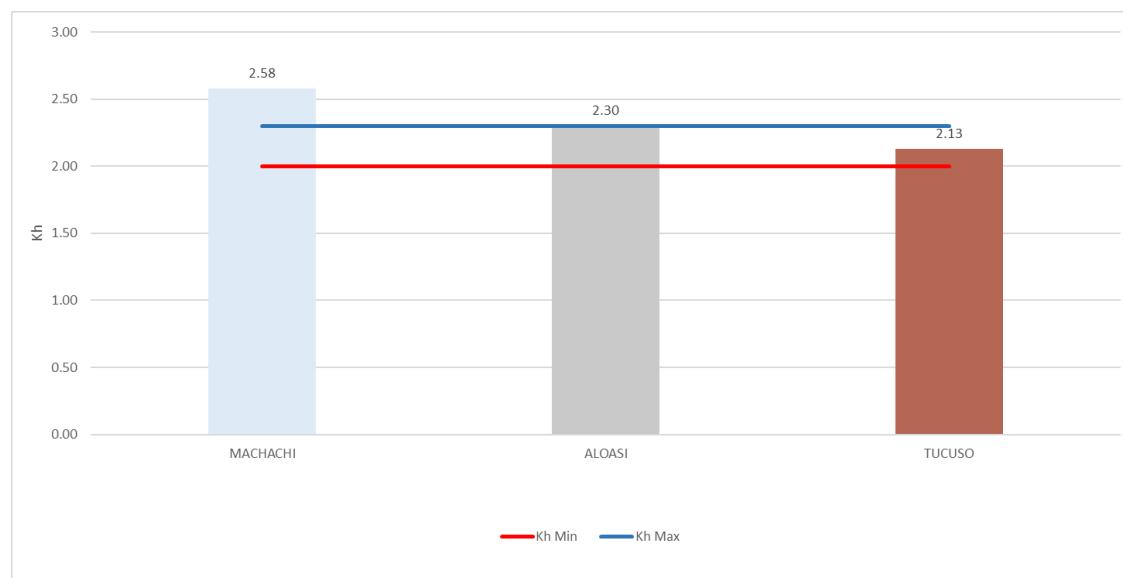


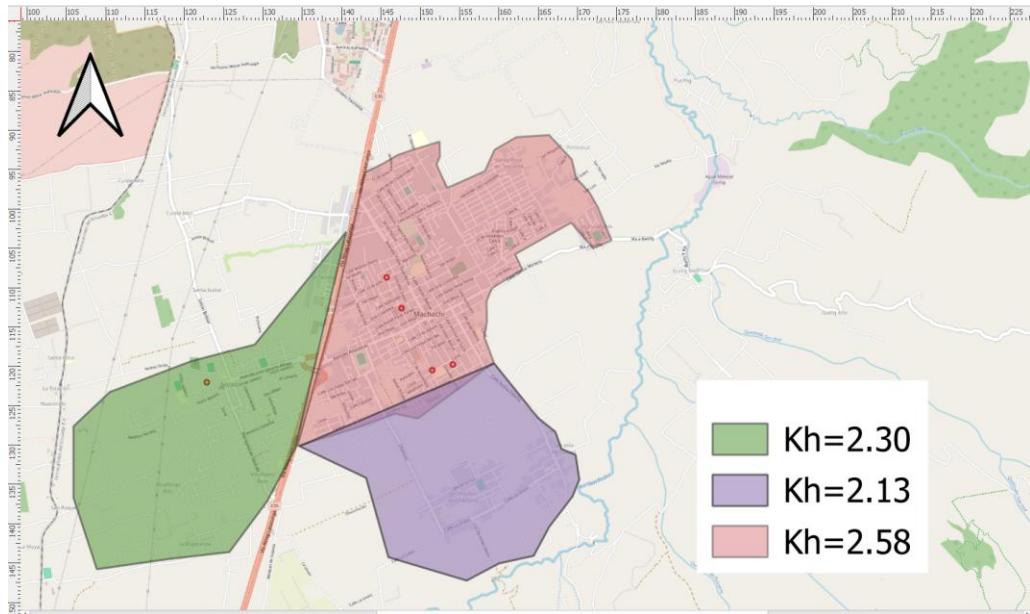
Figura 26 Comparativa del consumo horario en Machachi

Fuente: (Guanolema, 2025)

El coeficiente de consumo horario en Machachi, Aloasí y Tucuso muestra diferencias significativas, como se expone en la *Figura 26*, reflejando variaciones en la demanda de agua según la dinámica de cada sector. En la Red Machachi, el valor de Kh alcanza 2,58, lo que indica una mayor fluctuación en el consumo a lo largo del día, superando los valores establecidos por la normativa. Este comportamiento sugiere que, en esta zona, el uso del agua está marcado por hábitos intensivos en ciertos momentos, posiblemente relacionados con actividades laborales y domésticas concentradas en horas pico.

El coeficiente de consumo en Aloasí alcanza un promedio de 2.30 dando a entender que el consumo no sobrepasa el límite establecido por la normativa, pero si refleja que la demanda varía, y puede alcanzar límites más altos si no se lleva a cabo un estudio, este cambio de consumo se debe a las características de cada sector destacando actividades cotidianas semejantes a los demás sectores, la eficiencia que destaca en esta red es el manejo adecuado de los recursos, hábitos y costumbres.

Mientras tanto la red de Tucuso tiene valores más bajos que son 2.13, dando a entender el cambio en la variación del consumo se puede asimilar que el uso de agua es menor, debido a su poca población y distribución de hogares. Los datos obtenidos en la *figura 27* reflejan lo importante que es manejar los recursos de manera eficiente. El consumo variado en horarios pico puede llegar a ocasionar perdidas de fluido, presión la manera de reducir estos problemas es la socialización entre las personas del hogar y comunidad la mejor manera de cuidar y utilizar el recurso.



**Figura 27** Mapa de los coeficientes máximos horarios de las tres redes de distribución

Fuente: (Guanolema, 2025)

### 4.3 Discusión

Machachi se considera una ciudad pequeña dentro del contexto ecuatoriano, lo que influye en los patrones de consumo de agua potable en la población. Las ciudades con menos de 150,000 habitantes presentan variaciones significativas en la dotación del recurso hídrico, debido a la estructura de su economía, las actividades laborales de sus habitantes y la planificación de su red de abastecimiento [27]. De acuerdo con datos del censo del 2010, la población de Machachi alcanzaba aproximadamente 27,623 habitantes, evidenciándose que el consumo de agua está influenciado por múltiples factores, entre ellos la movilidad de la población. Muchas personas trabajan fuera de la zona urbana, desplazándose a otros sectores durante el día y reduciendo así el consumo de agua potable en sus hogares en ciertos horarios específicos. Además, la dinámica económica de la ciudad también tiene un impacto en la gestión

del recurso, pues los ingresos de las familias determinan el acceso a almacenamiento de agua y a sistemas eficientes de abastecimiento.

El consumo en Machachi tiene variaciones significativas debido al tipo de estrato socioeconómico, la demografía, los cuales presentan altos niveles de consumo, Machachi al ser una ciudad céntrica está llena de actividades comerciales por ende es necesario más recursos hídricos, a diferencia de las redes de Aloasí y Tucuso donde el consumo es menor a comparación de Machachi destacando variables diferentes a las demás redes, esto refleja el resultado obtenido por [28], donde se determina que el estrato económico es la influencia más grande mientras más alto sea el ingreso menos consumo de agua se refleja a diferencia de los estratos C Y D que son propensos a tener mayor consumo.

En varias partes del país en estudios previos realizados se determinaron que los coeficientes de consumo horario, sobrepasan los rangos (2 a 2.30) establecidos por la normativa CPE INEN en el cantón guano las redes con mayor demanda superan con mucho los rangos de la norma alcanzando 2.78 y 2.80 asemejándose a la red de Machachi donde también ha sobrepasado el límite máximo. Esta variabilidad depende básicamente del momento pico de consumo debido a las actividades y hábitos.

Otro aspecto clave en el análisis del consumo de agua en Machachi es la comparación con otras ciudades ecuatorianas que presentan dinámicas similares. [18] estudiaron el cantón Colta y determinaron que los picos de consumo se registraban entre las 04h00 y las 08h00, alcanzando caudales de hasta 150 l/h. En contraste, en Machachi, los momentos de mayor consumo se registraron al mediodía, con valores de hasta 150.40 l/h. La diferencia en los horarios de mayor demanda responde a las características laborales y domésticas de cada localidad, ya que en Colta la mayoría de las actividades diarias comienzan temprano en la mañana, mientras que en Machachi el consumo más alto se concentra en las horas centrales del día.

El estudio realizado [21] en la ciudad de Guaranda determinó que, en las siete redes estudiadas, se observa una tendencia de consumo elevado en tres horas pico del día, estableciendo picos alrededor de las 7h00, 12h00 y 20h00. Esto no implica que los puntos máximos de consumo se obtengan exclusivamente en estas horas, ya que la variación puede desplazarse dentro del horario considerado como pico. Se registró un consumo máximo de 122.85 l/h en una red específica, y se deduce que la hora de mayor consumo es a las 19h00. La causa de esto es debido a la ausencia de personas en el hogar durante día de labores utilizando el recurso principalmente en horas de la mañana y en la noche.

El consumo de agua en la red de Machachi está relacionada con el ámbito social y económico de las familias y también dependen del tipo de zona y su demografía. Enredes como Machachi y Aloasí tienen un pico de consumo alto al medio día donde alcanza un 104.88 l/h y 121l/H para cada red, concluyendo como factor principal la capacidad las personas de movilizarse dentro del sector aventajando su poca área. Esto define de manera significativa el proceso de planificación para una adecuada dotación.

Por otra parte, en la red de Tucuso logra alcanzar picos de 145.98 l/h generado curvas sami estables a lo largo del día empezando a las 12h00 hasta horas de la noche 20h00 este incremento se debe al número elevado de familiar dentro del hogar, usando así también el uso de agua para riego, limpieza, y crianza de animales. Todos estos factores forman parte del impacto que tiene la falta de mantenimiento y el uso de tubería de asbesto cemento que en pésimas condiciones lo que afecta notablemente la calidad y disponibilidad del servicio

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Mediante la estratificación socioeconómica, se logró segmentar la ciudad en diferentes zonas residenciales, identificando la influencia del nivel económico de la población en el consumo de agua potable. Se evidenció que los estratos C y D presentan mayores niveles de demanda debido a sus hábitos de uso y a la cantidad de habitantes por vivienda, con un promedio máximo de 4.5, seguido de 4.2 y 3.8 habitantes por vivienda. La caracterización de los sectores permitió establecer estrategias para optimizar la red de abastecimiento y mejorar la eficiencia del sistema de distribución de agua.

Las mediciones efectuadas en la zona de estudio, los medidores residenciales permitieron determinar cuánta agua consume la población cada hora, arrojando número más precisos validando las variables, sin duda todos los datos varían entre subidas y bajadas dependiendo de la zona estudiada lo cual es beneficioso al momento de tomar acciones para la mejora del sistema de dotación y distribución, obteniendo un servicio más eficiente y sostenible.

El estudio realizado sobre la importancia del consumo de agua, tomo en cuenta las variables como almacenamiento, como cisternas, tanques, o reservorios, estas variables causan fluctuaciones en la toma de datos, proporcionando datos con muchos errores lo cual no beneficia a un resultado más exacto, para garantizar el correcto uso de datos se aplicó encuestas a 150 familias en el sector residencial, obteniendo así 90 hogares relativamente adecuados para precisar datos.

Gracias a los datos generados con números reales, se diseñaron curvas de consumo en la ciudad de Machachi. Obtenido así un promedio y datos más precisos de la demanda por cada hora los siete días de la semana, dando a conocer que los picos más altos son a las 12h00 y en la noche a las 20h00.

Los coeficientes de consumo horario obtenidos de cada red son para Machachi un  $K_h$  de 2.58, para Aloasí un  $K_h$  de 2.30 y para Tucuso un  $K_h$  de 2.13. dichos resultados en la red de Machachi sobrepasan los límites proporcionados por la norma CPE INEN 5 de 1992, a diferencia de las redes restantes donde el máximo es de 2.30 lo cual entra en el rango, pero no aseguramos que dentro de pocos años aumente su coeficiente. Dependerá básicamente del tiempo de clima, temperatura, clase social, y actividades. Dichos datos deben ser un modelo a seguir para crear y diseñar sistemas más eficientes donde se optimice el consumo y reduciendo así las perdidas y bajando costos por consumo.

### 5.2 Recomendaciones

Para garantizar un consumo óptimo de agua potable, es necesario adecuar las estructuras de planificación y regulación del agua a los sectores más vulnerables. Que permitan entender

cuáles son los puntos de mayor consumo, para obtener valores más estables de consumo es necesario hacer cambios significativos a las redes y establecer mejoras en tecnología, implementar sistemas de monitoreo, ayudando a disminuir el desperdicio y daño en accesorios, garantizando costos acordes al servicio brindado

Al realizar la estratificación socioeconómica en la ciudad, es un punto de partida para mejorar la dotación y el sistema garantizando el servicio a cada sector y cubriendo con la necesidad de cada uno de ellos, también es un beneficio para el costo del servicio reduciendo o aumentando los costos progresivamente según el consumo. Esto ayudaría a las autoridades tener fondos para mejorar el servicio, dar mantenimiento y alcanzar un buen nivel de servicio. Realizar estudios previos para garantizar el servicio continuo en zonas de mayor demanda en horas pico.

Con toda la información proporcionada en esta investigación es crucial realizar un ajuste en el horario de bombeo donde existe más consumo para evitar zonas sin suministro de agua y mejorar la calidad y eficiencia del servicio a la comunidad. Implementar procesos de prevención y mantenimiento ante posibles amanezcas o imprevistos, implementando dispositivos de almacenamiento inteligentes donde su objetivo principal sea la de evitar caídas de en las redes,

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, “En 2022, transformemos la educación para un futuro con más esperanza,” UNESCO, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/articles/en-2022-transformemos-la-educacion-para-un-futuro-con-mas-esperanza>
- [2] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía, “Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía,” 2024. [En línea]. Disponible en: <https://portal-ciudadano.municipiodemejia.gob.ec/>
- [3] V. Fernández y C. Molestina, “Propuesta de un sistema óptimo de gestión del manejo del agua potable,” 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/26/agua-potable.html>
- [4] INEC, “Población y demografía,” 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-depoblacion-y-vivienda/>
- [5] EPAA-Mejía, Plan Estratégico: Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Mejía, Administración 2014–2019, 2015.
- [6] Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado – EPAA-AA, “Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Antonio Ante – EPAA-AA,” 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.epaa.gob.ec/>
- [7] L. López y V. Bravo, “Análisis correlacional del consumo de agua potable y su incidencia en la salud de los habitantes de la ciudad de Calceta,” Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo, vol. 5, no. 9, art. 9, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.56519/vpxdgi62>
- [8] M. Monroy, S. Plata y S. Buitrago, “Amenazas latentes en el agua potable: Un análisis sobre la prevalencia y ocurrencia de los virus entéricos en las fuentes hídricas para el consumo humano,” Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá, vol. 10, supl. 1, 2023.
- [9] J. Villacorta, R. Barbaran y A. Ruiz, “Tendencias de la aplicación de redes neuronales artificiales en el pronóstico del consumo de agua potable en la Amazonía Peruana,” Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, vol. 7, no. 2, art. 2, 2023. Disponible en: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.5897](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5897)
- [10] Organización Mundial de la Salud, “Organización Mundial de la Salud,” 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es>
- [11] Constructec S.A., “Constructec S.A.,” 2024. Disponible en: <https://www.constructecsa.com/>

- [12] V. Parrales, G. Reyna y H. Cedeño, “Calidad de agua potable de las zonas urbanas: Artículo de revisión bibliográfica,” Revista Científica de Educación Superior y Gobernanza Interuniversitaria Aula 24, vol. 3, no. 5, art. 5, 2022.
- [13] A. Arellano y D. Peña, “Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable,” Revista Digital Nova Sinergia, vol. 3, no. 1, pp. 27–36, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>
- [14] J. Muñoz, D. Escobar y C. Márquez, “Factores de éxito en la administración y autogestión comunitaria del agua,” 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/28/agua-comunitaria.html>
- [15] A. Ramírez, L. Durán y L. Molina, “Introducción al uso de coagulantes naturales en los procesos de potabilización del agua,” Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, vol. 11, no. 2, art. 2, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i2.873>
- [16] C. Hernández, C. Amaya y S. Duran, “Formulación de atrapanieblas como alternativa de agua potable,” 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1527>
- [17] M. Ramírez Mosquera, J. G. Guerrero Erazo y D. Ramírez del Río, “Factores determinantes en el consumo residencial de agua potable en acueductos urbanos: caso de estudio ciudad de Popayán, Colombia,” Scientia et Technica, vol. 24, no. 2, p. 321, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22517/23447214.22111>
- [18] E. Calderón y M. Tello, “Estudio del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable en los cantones Colta y Penipe,” 2022.
- [19] J. Macas y C. Rodas, “Estudio del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable en los cantones Baños y Pelileo,” 2022.
- [20] M. Llamuca y J. Vallejo, “Análisis del consumo horario residencial de agua potable del cantón Guano,” 2023.
- [21] J. Rea, “Determinación del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable en el cantón Guaranda,” 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/12758>
- [22] R. Macas y L. Moyón, “Determinación del comportamiento de consumo horario residencial de agua potable de las parroquias Cubijíes y San Gerardo,” 2024.
- [23] N. Córdoba, L. E. Astorquia, A. Alegrechy, A. Díaz, V. Luques y O. Medina, *Metodología de la investigación I*, 2023.
- [24] A. Arellano, J. González y A. Gavilanes, “Método de caracterización urbanística y socioeconómica para poblaciones menores que 150.000 habitantes,” 2012. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17722.21446>

- [25] J. Leyva, Y. Guerra, J. Leyva y Y. Guerra, “Objeto de investigación y campo de acción: Componentes del diseño de una investigación científica,” EDUMECENTRO, vol. 12, no. 3, pp. 241–260, 2020.
- [26] CPE INEN 5, Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, pp. 1–291, 1992. [En línea]. Disponible en: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5-parte9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9-1.pdf)
- [27] A. Arellano, A. Bayas, A. Meneses y T. Castillo, “Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes,” *NovaSinergia: Revista Digital de Ciencia, Ingeniería y Tecnología*, vol. 1, no. 1, pp. 23–32, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- [28] L. Alulema y H. Estrada, “Estudio del consumo horario residencial de agua potable en las redes Saboya; Veranillo; Maldonado; Piscín de la ciudad de Riobamba,” 2023.

## ANEXOS

### **Anexo 1 Cuestionario sobre el uso del agua potable**

El cuestionario forma parte de un estudio de investigación que busca analizar el consumo residencial de agua potable en el cantón Guano. Le pedimos que lea con atención cada pregunta y responda con sinceridad, ya que su participación es clave para el éxito de esta investigación.

1. **Nombre del encuestado:** \_\_\_\_\_

2. **Barrio o sector en el que reside:** \_\_\_\_\_

3. **Coordenadas:** \_\_\_\_\_

4. **Cantidad de personas que habitan en la vivienda:** \_\_\_\_\_

5. **¿Cuál es el tipo de vivienda que posee?**

- Casa unifamiliar ( )
- Casa bifamiliar ( )
- Edificación con múltiples viviendas ( )
- Departamento ( )

6. **Indique la cantidad de pisos o departamentos en su residencia:**

- Uno ( )
- Dos ( )
- Tres o más ( )

7. **¿Cuenta con un medidor de agua en su domicilio?**

- Sí ( )
- No ( )

8. **¿Dispone de acceso continuo al agua potable todos los días?**

- Sí ( )
- No ( )
- Algunas veces ( )

9. **¿Tiene algún sistema de almacenamiento de agua potable?**

- Sí ( )
- No ( )

10. **En caso de contar con un sistema de almacenamiento, ¿qué tipo utiliza?**

- Cisterna ( )
- Tanque elevado ( )
- Tanque para lavar ropa ( )

11. **¿Cómo califica la calidad del agua que recibe para su consumo?**

- Excelente ( )
- Bueno ( )
- Regular ( )
- Malo ( )

12. Que tipo de características ud tiene del agua potable

- Transparente ( )
- Turbia ( )
- Incolora ( )
- Insabora ( )

13. **Indique qué tipo de instalaciones sanitarias tiene en su hogar y cuántas hay:**

**Aparato sanitario      ¿Presente? Cantidad**

Inodoro      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Lavabo      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Ducha      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Lavaplatos      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Lavadora      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Tanque para la ropa      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Piscina      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Grifo      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Hidromasaje      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Jardín y/o huerta      ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

Área de lavado de autos ( ) Sí ( ) No \_\_\_\_\_

**Anexo 2 Encuesta para la Caracterización Urbana**

**Estudio Socioeconómico en el Cantón Machachi**

La encuesta es parte de una investigación cuyo objetivo es conocer el perfil socioeconómico del área urbana residencial del cantón Machachi. Agradecemos su colaboración respondiendo con sinceridad, ya que la veracidad de la información es fundamental para el éxito del estudio.

**I. Datos Generales**

**Número de encuesta:** \_\_\_\_\_

**Dirección:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

**Sector:** \_\_\_\_\_

**Manzana:** \_\_\_\_\_

**Código de vivienda:** \_\_\_\_\_

**Nombre del encuestado:** \_\_\_\_\_

**¿Es usted el jefe o jefa del hogar?**

Sí

No

## **II. Información Socioeconómica**

### **1. ¿Cuál es su ocupación actual?**

Seleccione la opción que mejor describa su actividad principal:

Jubilado/a

Comerciante

Transportista

Agricultor/a

Ganadero/a

Docente

Ejecutivo/a o gerente

- ( ) Empleado/a de servicios  
( ) Profesional técnico  
( ) Trabajador/a en manufactura  
( ) Empleado/a de oficina  
( ) Obrero/a no calificado  
( ) Operador/a de maquinaria  
( ) Estudiante  
( ) Otro (especifique): \_\_\_\_\_

**2. ¿Cuántas personas en su hogar contribuyen económicamente?**

Número de personas: \_\_\_\_\_

**3. ¿A cuántas personas mantiene económicamente?**

Número de personas: \_\_\_\_\_

**4. ¿En su hogar cuentan con vehículos?**

Sí ( )

No ( )

**Cantidad de vehículos:**

Uso personal: \_\_\_\_\_

Uso laboral: \_\_\_\_\_

**III. Características de la Vivienda**

**5. La vivienda en la que reside es:**

( ) Propia

( ) Alquilada

( ) Prestada

( ) Heredada

**6. ¿Dispone de un jardín en su hogar?**

Sí ( )

No ( )

**IV. Servicios Básicos Disponibles**

Indique cuáles de los siguientes servicios tiene en su vivienda:

( ) Agua potable

( ) Energía eléctrica

( ) Teléfono convencional

( ) Alcantarillado

( ) Alumbrado público

( ) Recolección de basura

( ) Teléfono celular

( ) Internet

( ) Televisión por cable o satelital

( ) Servicio doméstico

( ) Seguridad privada

( ) Otro (especifique): \_\_\_\_\_

**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Registro de Consumo Horario de Agua Potable en el Cantón Machachi**

**Dirección del Predio:** \_\_\_\_\_

**Número de Muestra:** \_\_\_\_\_

**Registro del Consumo de Agua por Horas**

<b>Horario de Registro</b>	<b>Lunes (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Martes (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Miércoles (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Jueves (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Viernes (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Sábado (m<sup>3</sup> / l)</b>	<b>Domingo (m<sup>3</sup> / l)</b>
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	-						
17:00	-						
17:00	-						
18:00	-						
18:00	-						
19:00	-						
19:00	-						
20:00	-						
21:00	-						
21:00	-						
22:00	-						
22:00	-						
23:00	-						
23:00	-						
00:00	-						

**Anexo 3 socialización de las encuestas y preguntas.**



**Anexo 4 toma de datos de medidores**

