

## ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL CENTRO POBLADO DE SALCEDO, PUNO

### ANALYSIS OF DRINKING WATER CONSUMPTION IN THE TOWN OF SALCEDO, PUNO

Samuel Huaquisto Cáceres<sup>1</sup> y Isabel Griscelda Chambilla Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú

<sup>2</sup> Unidad de Gestión Educativa de Yunguyo Puno-Perú

shuaquisto@unap.edu.pe

(Recibido el 04 junio 2019, aceptado para publicación el 27 junio 2019)

#### RESUMEN

El aumento de la densidad poblacional y la dinámica de la expansión urbana hacen que estas zonas sean vulnerables a la dotación de agua potable por la creciente demanda y los complejos sistemas de tratamiento y abastecimiento. El estudio analiza el consumo de agua influenciado por el ingreso económico y número de habitantes por vivienda a fin de compararlos con los valores recomendados por la OMS; además, se determina la variación diaria y horaria del consumo de agua en la zona urbana de Salcedo-Puno. La muestra para el análisis del consumo de agua fue de 1246 viviendas y para las variaciones diarias y horarias 39 viviendas, cuyos datos de consumo y variación fueron recopilados de la Empresa Prestadora del Servicio y de observaciones in situ respectivamente. Se determinó que el consumo promedio de agua fue de 67 l/hab/d influenciados por factores como ingreso económico, número de habitantes por vivienda y meses del año. Los coeficientes de variación diaria y horaria que inciden en el diseño de la captación, conducción y reservorio, así como para la aducción y red de distribución fueron  $K_1 = 1.33$  y  $K_2 = 3.80$  respectivamente, siendo este último superior a los recomendados por los reglamentos debido a la no continuidad del servicio en el lugar. En conclusión, los valores del consumo de agua potable están por debajo de los niveles establecidos por la OMS de 100 l/hab/d, en el inciden entre otros factores el ingreso económico y el número de habitantes por vivienda, siendo el consumo máximo de 72,83 l/hab/d para viviendas con 5 habitantes y mínimo de 50,55 l/hab/d para viviendas de 12 habitantes.

**Palabras Clave:** Agua Potable, Análisis, Dotación, Variación Diaria, Variación Horaria.

#### ABSTRACT

The increase in population density and the dynamics of urban expansion make these areas vulnerable to the supply of drinking water due to the growing demand and the complex treatment and supply systems. The study analyzes water consumption influenced by economic income and number of inhabitants per household in order to compare them with the values recommended by WHO; In addition, the daily and hourly variation of water consumption in the urban area of Salcedo-Puno is determined. The sample for the analysis of water consumption was 1246 homes and for the daily and hourly variations 39 homes, whose consumption and variation data were collected from the Service Provider Company and from on-site observations respectively. It was determined that the average water consumption was 67 l/inhab/d influenced by factors such as economic income, number of inhabitants per household and months of the year. The coefficients of daily and hourly variation that affect the design of the catchment, conduction and reservoir as well as for the abduction and distribution network were  $K_1 = 1,33$  and  $K_2 = 3,80$  respectively, the latter being higher than those recommended by the regulations due to the non-continuity of the service in the place. In conclusion, the values of drinking water consumption are below the levels established by the WHO of 100 l/inhab/d, in the incidence among other factors the economic income and the number of inhabitants per dwelling, being the maximum consumption of 73,83 l/inhab/d for housing with 5 inhabitants and minimum of 50,55 l/inhab/d for housing with 12 inhabitants.

**Keywords:** Drinking Water, Analysis, Endowment, Daily Variation, Hourly Variation.

#### 1. INTRODUCCIÓN

La historia del abastecimiento de agua potable en el mundo y en Latinoamérica presenta particularidades provenientes de factores como la industrialización tardía, los intereses de las élites y los conflictos sociales que surgieron durante la implantación de políticas para el uso del agua [1], debido a la importancia del líquido elemento en el desarrollo de la población que usa agua en diversas actividades como la agricultura, la industria, el comercio, el hogar entre otros. El crecimiento de estas actividades, el desarrollo de las ciudades y de las localidades rurales, así como el incremento de la población hacen que existan muchas necesidades [2] básicas que ponen en conflicto social a los pueblos. El agua no sólo es un elemento vital para el desarrollo de la población, ésta cumple una función de preservación de los sistemas ecológicos además es indispensable para todos los sistemas de producción lo cual condiciona los distintos aspectos del desarrollo social, de allí que el agua se torne cada vez más en el centro del interés mercantil siendo un punto de disputa y tensión creciente a nivel mundial.

A nivel global el agua está distribuido aproximadamente de la siguiente manera: el 97% es salada y el 3% es dulce, del agua dulce solo 1% está disponible en ríos, lagos y acuíferos para el consumo humano. Algunas estimaciones mundiales

indican que 113000 km<sup>3</sup> de agua se precipitan al año, 7100 km<sup>3</sup> se evapora, 42000 km<sup>3</sup> regresa a los océanos y se filtra a los acuíferos, anualmente el 70% entre 9000 y 14000 km<sup>3</sup> mantienen los ecosistemas y sólo 4200 km<sup>3</sup> (30%) está disponible para irrigación, industria (23%) y uso doméstico (8%); se estima que para el 2025 el 80% de la población mundial estará en alta escasez de agua [3]. La demanda total de agua, a nivel mundial, crecerá entre un 35% y 60% al año 2025, pudiéndose duplicar al 2050 [4] debido al crecimiento demográfico que generará demanda de los recursos hídricos y una amenaza potencial para el desarrollo económico sostenible mundial [5]. Estas estimaciones globales se ven influenciadas por los efectos del cambio climático, como la alteración del régimen de precipitaciones y temperatura así como el crecimiento poblacional. En el contexto del cambio climático las proyecciones indican que los aumentos de temperatura del agua y la variación de los fenómenos extremos, incluidas las crecidas y sequías, afectarían a la calidad del agua y agudizarían la polución del agua por múltiples causas [6], las soluciones deben ser buscadas en el manejo descentralizado del ciclo de agua urbana para encontrar los usos y demandas locales lo que disminuye los costos de inversión y mantenimiento, reduce el consumo de energía y facilita el almacenamiento y la distribución [7]. Respecto al crecimiento poblacional, se prevé que, si se sigue con la misma línea de consumo de agua, el exceso puede traer como consecuencia ambiental el estrés hídrico en la que la demanda es mayor que la disponibilidad de agua con la calidad requerida, lo que significa un deterioro de los espacios donde se obtiene el recurso de agua dulce y, por tanto, un detrimento en la cantidad y calidad con efectos en la salud humana.

Actualmente más de 80 países que albergan al 40% de la población mundial sufren de escasez de agua y las tendencias indican en los próximos 50 años una situación crítica en la medida que aumente la población, así como el cambio climático global que perturba los regímenes de precipitaciones [8]; por lo que, la necesidad de atender la demanda de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas, debe considerar estrategias de gestión que promuevan un uso eficiente del agua, tales como: regulaciones legales, medidas tarifarias, campañas informativas, nuevas tecnologías, control de infraestructura [9] entre otros.

En el Perú, según el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) al 2018, un peruano consume en promedio un máximo de 163 litros de agua por día, más de lo que indica la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 100 litros diarios. Este consumo se ve influenciado por factores socioeconómicos donde zonas con mayor presencia de restaurantes, centros comerciales, hoteles y viviendas residenciales consumen más agua que las zonas pobres. Por ejemplo, en Lima en el distrito de San Isidro cada usuario consume al día 477 litros de agua potable, cifra que supera en un 400% el estimado recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para cubrir las necesidades de alimentación y aseo de la población. En Miraflores el consumo por persona es de 436 litros de agua potable por día. Lo siguen Barranco, Lince y San Borja con consumos de 267; 254 y 253, litros por persona respectivamente. Sin embargo, según La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) al 2017, hay distritos como Lurigancho Chosica, en donde una persona consume un promedio de 15 litros de agua al día, en Pachacámac, el promedio por día es 36 litros y en Cieneguilla 40 litros, cifras preocupantes que implican una distribución inequitativa del agua influenciado por el factor económico.

En la Región Puno, no se tiene datos públicos sobre el consumo de agua, pese a que existen 05 Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), además existen otras que se denominan Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) en centros poblados para administrar solamente provisión de agua segura, la mayoría no cuentan con sistema de tratamiento básico; unas tienen sistemas de filtración solamente, otras con agua entubada, todas sin desinfección [10]. Por tanto, la cobertura de agua potable en la Región alcanza aproximadamente al 67% de la población y no se tiene estudios exactos de consumo de agua que se pueda emplear en el diseño de futuros proyectos de abastecimiento.

Por otro lado, en la zona de estudio difícilmente se llega a un consumo de 100 l/hab/d recomendados por la OMS para atender todas las necesidades de higiene, debido a las limitaciones existentes en la dotación del servicio que no es continua, existiendo pocas horas de suministro de agua; por lo que, la población se ve obligado a almacenar agua para consumo degradando su calidad lo cual afecta la salud humana. Estas aguas para consumo pueden contaminarse en la misma fuente, en la red de distribución o en los receptáculos de almacenamiento [11]; entonces es indispensable fortalecer los sistemas de abastecimiento, para aumentar la eficiencia en la remoción de contaminantes y reducir los riesgos para la salud [12]. En ese sentido, el objetivo del presente estudio es analizar el consumo de agua en la zona urbana de Salcedo, considerando el ingreso económico y número de habitantes por vivienda a fin de compararlos con los valores recomendados por la OMS; adicionalmente se determina los coeficientes de variación diaria y horaria del consumo de agua con el fin de proponer valores de diseño de la línea de conducción y de aducción para el lugar de estudio.

### **1.1 La urbanización y crecimiento poblacional en el consumo de agua**

Dos procesos que influyen con mayor intensidad sobre los recursos hídricos en el mundo son la urbanización, que aunada al crecimiento de la población, ocasiona desequilibrios en los balances de agua en las cuencas en que se asientan las ciudades, especialmente si estas últimas son de gran tamaño —megaciudades— o se encuentran en zonas de escasez hídrica [13]. En la mayoría de los países la urbanización se ha llevado a cabo sin una adecuada planificación, lo que ha

resultado en impactos ambientales como la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por diversas fuentes [14] por ello, cada vez será más difícil para los gobiernos incrementar la capacidad de la infraestructura para hacer llegar agua de calidad a un número creciente de habitantes [15], dada esta situación los responsables en tomar decisiones en la planeación de los servicios de agua en ciudades requieren de métodos y herramientas que les permitan dar soluciones con valores reales de consumo para el diseño y dimensionamiento de estructuras de abastecimiento de agua potable; además, implementar acciones de capacitación, preparación de procedimientos para la detección de fugas; inspecciones y reparaciones de fugas identificadas, especialmente en tanques de agua, alimentadores de agua de edificios, duchas y válvulas de descarga, boyas defectuosas, y la desactivación de piscinas ornamentales por dificultades de mantenimiento [16]. Tener en consideración que existen siempre limitaciones en la provisión del servicio, las empresas proveedoras son privadas, públicas, formales e informales, que muchas veces llegan al usuario con baja calidad y cantidad debido a la falta de tratamiento y pérdidas físicas del agua [17], por lo que; el uso eficiente del agua implica cambiar la manera tradicional de afrontar el incremento de la demanda del recurso, de «predecir y abastecer» hacia una gestión estratégica e integral de la demanda de agua [18], que implica modificar las costumbres y prácticas de los que hacen uso del líquido elemento, maximizando el uso de la infraestructura existente, con el fin de abastecer a los sectores vulnerables.

## 1.2 Factores que influyen en el consumo de agua

El consumo de agua está determinado por diferentes factores entre ellas tenemos: climático (temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa), social (habitantes por vivienda, composición familiar, nivel de educación, estrato social), económico (ingreso familiar, precio del agua, consumo histórico) y cultural (estilo de vida de las personas, valores, educación, normas y modelos sociales, creencias asociadas a la conducta ambiental), los cuales de acuerdo con el contexto, tendrán diferentes relevancias [9]. Otro grupo similar de variables relacionadas al consumo de agua doméstico son: sociodemográficos, psicológicos, político-económicos, el modelo urbano y las condiciones climáticas [19] y costumbres. El factor económico es determinante, conforme aumenta el nivel económico, también lo hace el consumo de agua debido en muchos casos a elementos externos a la vivienda que consume agua (jardines, piscinas, lavadoras, etc.). Las variables climáticas también se correlacionan significativamente con el uso de agua per cápita en la mayoría de las escalas de tiempo, con temperaturas media, mínima y máxima y la longitud de la luz del día correlacionada positivamente; la precipitación, la velocidad del viento, la humedad relativa y la nubosidad muestran una relación inversa con el uso del agua [20].

## 1.3 El consumo de agua según la OMS y algunos países de la región.

El acceso al agua está concebido como un derecho que comprende a la salud, un medio ambiente sano, la alimentación y la vivienda adecuada. Según la Tabla 1 de la OMS, una persona necesita al menos 50 litros diarios de agua para satisfacer sus necesidades básicas y 100 litros para atender todas las necesidades de manera óptima. Sin embargo, la distribución de tal recurso es inequitativa entre los países y los consumos varían según sea el nivel de desarrollo que alcancen. En Estados Unidos de América el consumo doméstico es de 596 l/hab/d, en Canadá de 766 l/hab/d, en otras naciones como Brasil, con menor acceso al agua, el consumo per cápita por año es de 192 l/hab/d o bien países como Bangladesh, donde la situación es precaria, el consumo no rebasa los 44 l/hab/d [21]. En México el consumo de agua potable en promedio en la zona urbana es de 250 l/hab/d, en general, por fugas de diferente tipo y origen, se pierden en los sistemas cerca de 100 l/hab/d, lo que hace que el consumo promedio por habitante sea de 150 l/hab/día [8]. El consumo de agua en ciudades que se encuentran a cierta altitud respecto al nivel del mar y con clima ligeramente frío, se tiene a: Quito con consumos de 200 a 220 l/hab/d, en los meses secos las personas consumen una mayor cantidad del líquido vital según el diario La Hora al 2018; Bogotá con un valor promedio aceptable para toda la población de 123,88 - 125,24 l/hab/d, siendo un valor final aceptable el de 125 lit/hab/d [22] y La Paz con un consumo promedio histórico por habitante 100 litros por día y en El Alto de 60 litros por persona, con el aumento de las temperaturas el promedio se incrementa de 115 hasta 120 litros per cápita en La Paz y unos 66 litros por persona en la urbe alteña según el diario la Razón (2014).

## 1.4 La variación diaria y horaria del consumo de agua

Los valores de la dotación y las variaciones de consumo influyen en el abastecimiento del agua, dado que los volúmenes de almacenamiento pueden no ser acordes a la realidad, entonces toma importancia el uso adecuado de coeficientes de variación diaria y horaria de la demanda para el diseño del sistema de abastecimiento. Los coeficientes de variación de la demanda expresan la relación entre el gasto máximo y el gasto medio que conduciría la tubería. Obtenidos de esta manera para cierta tubería los coeficientes de variación y curva de variación de la demanda, se asumen válidos para cualquier otra tubería de la red, siendo su uso del coeficiente diario para la captación, conducción y reservorio y del horario para la aducción y red de distribución.

La estimación correcta de la demanda de agua potable representa una condición indispensable para la planeación y el diseño de los sistemas de suministro, que en gran medida determina las inversiones necesarias y calidad del servicio. La demanda está sujeta a variaciones interanuales, estacionales, semanales y diarias. La variación interanual se expresa por

la evolución de la demanda durante varios años debida a la dinámica de la población, alteraciones en su estilo de vida y, recientemente, por el cambio climático. La variación estacional se influenciada por las diferencias en el clima de las estaciones del año; y la variación semanal muestra carácter cíclico con cierto patrón diario, que es similar entre un día y otro, con algunas diferencias para los fines de semana y días festivos [24]. A pesar de su importancia, en la práctica, la demanda de agua potable y su variación se estima de manera muy aproximada.

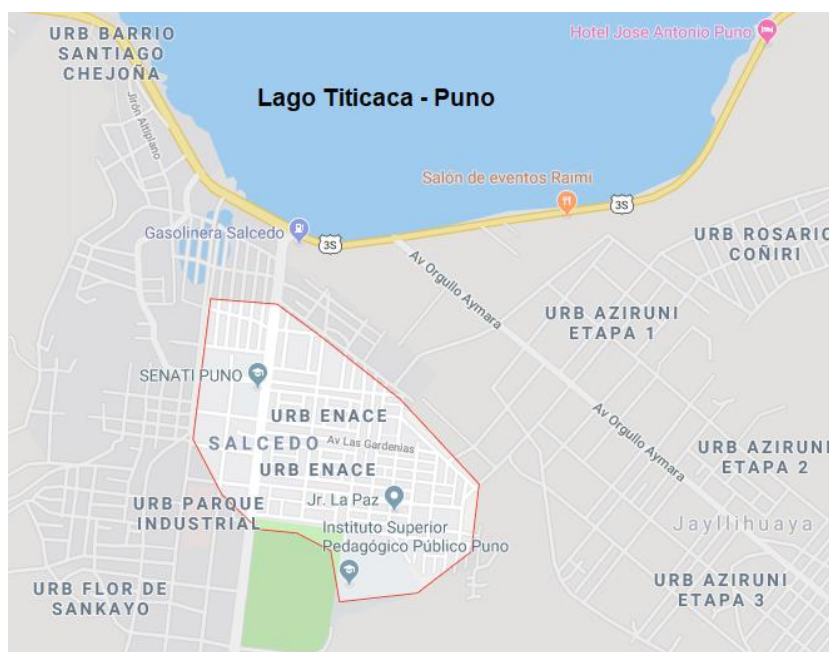
**TABLA 1 - REQUISITOS DEL NIVEL DEL SERVICIO DE AGUA PARA PROMOVER LA SALUD, OMS**

Nivel del servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel del efecto en la salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/hab/d)	Más de 1000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo - no se puede garantizar</li> <li>▪ Higiene - no es posible (a no ser que se practique en la fuente)</li> </ul>	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20 l/hab/d)	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo - se debe asegurar</li> <li>▪ Higiene - el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible (es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente)</li> </ul>	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/hab/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 minutos del tiempo total de recolección)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo - asegurado</li> <li>▪ Higiene - la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada (se debe asegurar también la lavandería y el baño)</li> </ul>	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/hab/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo – se atienden todas las necesidades</li> <li>▪ Higiene – se deben atender todas las necesidades</li> </ul>	Muy bajo

Fuente: [23]

## 2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio fue el centro poblado de Salcedo, del Distrito, Provincia y Región Puno para los años 2016 y 2017. Aproximadamente un 70% de la población trabaja en el sector público, seguido de la industria artesanal, la pesca entre otros. Dicha zona de estudio se ubica a 3817 msnm y a orillas del Lago Titicaca y a una distancia media de 5 km al sur del centro de la ciudad de Puno el cual se muestra en la Figura 1. El clima es frío y seco, con temperatura media anual de 8,4 °C y precipitaciones medias de 696 mm al año.



**Figura 1:** Ubicación de la zona de estudio, Salcedo – Puno.

La muestra de estudio está constituida por 1246 viviendas con medidores de agua, las cuales tienen en total una población de 5820 habitantes y se muestra en la Tabla 2, para este caso no han sido consideradas viviendas que no tienen medidores de agua. Para categorizar los niveles de ingresos económicos se tomó como referencia a la Asociación Peruana de Empresas de Investigación de Mercados (APEIM) del 2016, la misma que toma como base a la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

**TABLA 2 - MUESTRA DE ESTUDIO SEGÚN INGRESOS ECONÓMICOS, 2017**

Nivel	Ingreso económico S/.	Viviendas	Habitantes	Porcentaje
A	5156 – 10622	102	740	13
B	3261 – 5156	221	1201	21
C	1992 – 3261	474	2239	38
D	1027 – 1992	291	1183	20
E	0 – 1027	158	457	8
<b>Total</b>		1246	5820	100

**Fuente:** Elaboración en base a datos de APEIM.

Se realizó también un muestreo de 39 viviendas, distribuidas una por manzana, para la determinación de los coeficientes de variación diaria  $K_1$  y horaria  $K_2$  del consumo de agua mediante un aforo continuo de 26 días, considerándose el intervalo de tiempo desde el 16 de octubre al 10 de noviembre del 2017.

### 3. METODOLOGÍA

Para la determinación del consumo promedio de agua según ingresos económicos, habitantes por vivienda y meses del año, se tuvo como *metodología la investigación de tipo descriptiva* cuya unidad de análisis fue el consumo de agua. Para el recojo de datos se empleó la técnica de la entrevista mediante *un cuestionario aplicado a cada vivienda sobre el ingreso económico familiar, número de habitantes por vivienda y consumo mensual de agua*. Este último indicador del consumo de agua en l/hab/d fue proporcionado por la Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno (EMSA-PUNO) para el periodo comprendido entre julio de 2016 a junio del 2017. El procedimiento seguido para la determinación del consumo per cápita es el siguiente:

- Determinación de consumos de agua por vivienda en base a la facturación de la Empresa Prestadora del Servicio el cual está en  $m^3$  por mes. En dicha información también se tiene el número de conexiones a viviendas con medidores de agua.
- Recopilación de la información en base al cuestionario del número de habitantes por vivienda e ingreso familiar. A partir del cual se determina el total de la población multiplicando el número de habitantes por vivienda y el número de viviendas con medidor de agua.
- El consumo per cápita en litros por habitante por día para la zona de estudio se determinó mediante la ecuación (1):

$$\text{Consumo}(l/hab/d) = \frac{1000 \sum(\text{Consumo mensual por vivienda en } m^3)}{(\text{Población total})(\text{Número de días del mes})} \quad (1)$$

La interpretación de los valores de consumo de agua obtenidos se comparó con los parámetros recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Para consumos de 50 l/hab/d el acceso es intermedio, consumo asegurado de higiene básica personal y de los alimentos; se asegura también la lavandería y el baño. Para 100 l/hab/d el acceso es óptimo, consumo en la que se tiene asegurado todas las necesidades de higiene de manera óptima.

También se considera para análisis al Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú en su apartado OS 100, en la que se presenta recomendaciones de dotación del agua para diseño. En este reglamento se indica que la dotación promedio diario anual por habitante se fijará en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, de no existir estos estudios se considerará por lo menos para sistemas de conexiones domiciliarias una dotación de 180 l/hab/d en clima frío y para programas de vivienda con lotes de área menor o igual a  $90 m^2$ , las dotaciones serán de 120 l/hab/d.

En cuanto a la determinación de los coeficientes de variación diaria  $K_1$  y horaria  $K_2$  utilizado para diseño del sistema de abastecimiento, se realizó la observación diaria y horaria del consumo de agua correspondiente a 29 medidores seleccionados al azar para un aforo de 26 días consecutivos en el mes de máximo consumo, registrándose los datos en una ficha. Las ecuaciones correspondientes para la determinación de los coeficientes son las siguientes:

De la ecuación de demanda máxima diaria, se despeja el coeficiente  $K_1$  (2):

$$Q_{md} = K_1 Q_p \text{ luego, } K_1 = \frac{Q_{md}}{Q_p} \quad (2)$$

donde  $Q_{md}$  es el caudal máximo diario,  $K_1$  el coeficiente de consumo máximo diario y  $Q_p$  el caudal promedio diario.

El caudal máximo diario ( $Q_{md}$ ) es el correspondiente al consumo máximo registrado durante 24 horas en un periodo de un año, sin tener en cuenta los consumos por pérdidas, incendios y otros.

De la ecuación de demanda máxima horaria, se despeja el coeficiente  $K_2$  (3):

$$Q_{mh} = K_2 Q_p \text{ luego, } K_2 = \frac{Q_{mh}}{Q_p} \tag{3}$$

donde  $Q_{mh}$  es el caudal máximo horario,  $K_2$  el coeficiente de consumo máximo horario y  $Q_p$  el caudal promedio horario.

El caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ ) es el correspondiente al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año. Para el caudal promedio horario ( $Q_p$ ) se considera del consumo medio diario anual dividido entre 24 horas.

Para la interpretación de los coeficientes se considera al Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú en su apartado OS 100, en la que se tiene recomendaciones de variaciones de consumo o gasto. Este reglamento indica que, en los abastecimientos por conexiones domiciliarias, los coeficientes de las variaciones de consumo, referidos al promedio diario anual de la demanda, deberán ser fijados en base al análisis de información estadística comprobada, de lo contrario se podrá considerar los siguientes coeficientes: máximo anual de la demanda diaria de 1,3 y máximo anual de la demanda horaria de 1,8 a 2,5.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 Consumo de agua potable según ingresos económicos y número de habitantes por vivienda.

Para analizar el consumo de agua potable de la población de Salcedo, se ha considerado características como el nivel de ingreso económico, determinado a partir de los niveles socioeconómicos establecidos por la empresa APEIM el cual considera la Encuesta Nacional de Hogares realizado por el INEI. Se tienen cinco niveles mostrados en la Tabla 2 de acuerdo al ingreso económico familiar. Se ha considerado también la evaluación del consumo promedio per cápita del agua durante los 12 meses del año; luego se pasó a realizar un análisis de varianza del consumo de agua según meses del año y número de habitantes por vivienda.

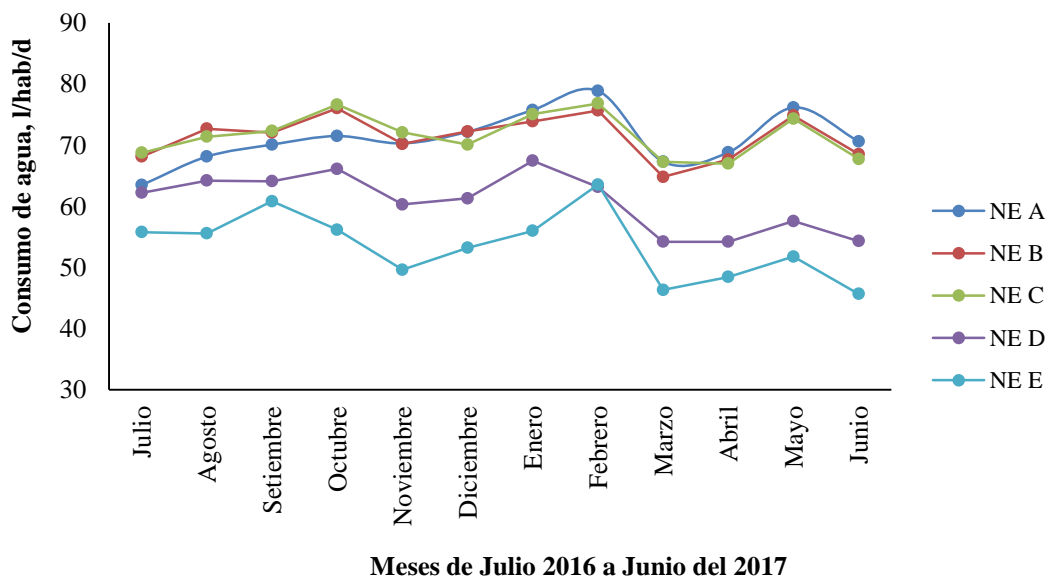


Figura 2: Consumo promedio de agua según ingresos económicos, 2016-2017.

Analizando la Figura 2, se observa que para los niveles económicos (NE) A, B y C, con ingresos económico de más de S/ 1992 que corresponden a profesionales que laboran en el sector público como profesores, policías, médicos, etc., los consumos promedios de agua tiene un comportamiento similar durante los 12 meses del año, con un consumo máximo registrado de 78,85 l/hab/d para el mes de febrero y nivel económico A; dado que en este mes se tiene la festividad de la Virgen de la Candelaria y los carnavales; en cambio para los niveles económicos D y E, con ingresos mensuales menores a S/ 1992 los consumos son inferiores, declinando más en el nivel E con un consumo mínimo de 45,68 l/hab/d para el

mes de junio. De este análisis, los que tienen un ingreso económico familiar alto consumen más agua potable durante todo el año, sobre todo en días festivos respecto a los de ingresos económicos bajos.

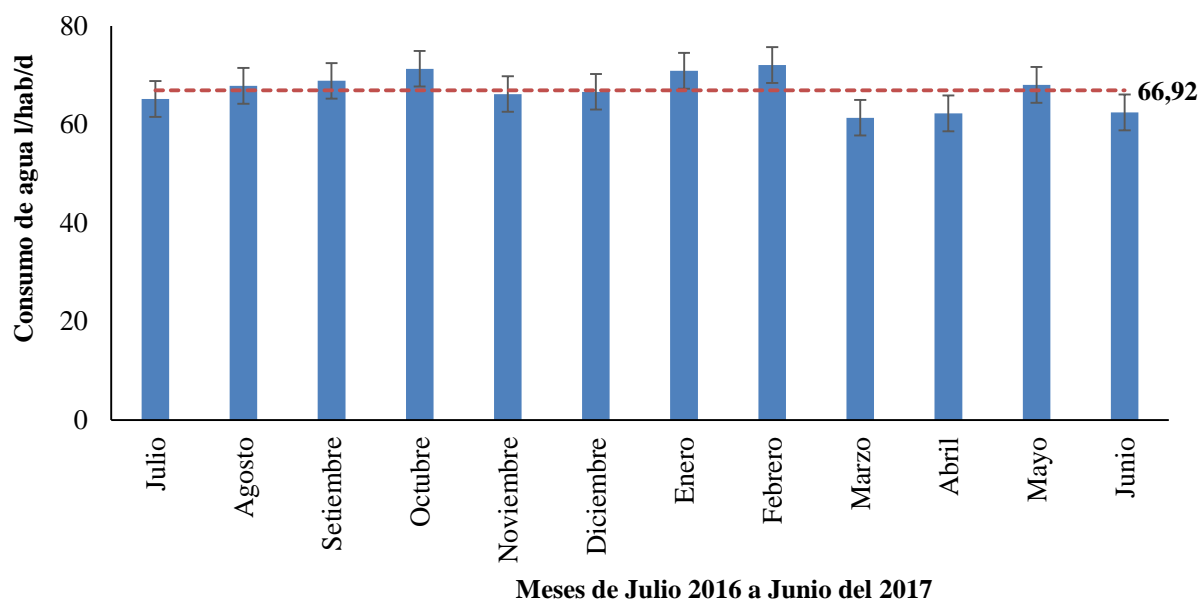


Figura 3: Consumo promedio de agua según meses del año.

En la Figura 3 se observa que el consumo promedio anual de agua potable para la población de Salcedo es de 66,92 l/hab/d con una desviación estándar de 3,61 l/hab/d. Los consumos de agua per cápita de la población superan este promedio en los meses de octubre, enero y febrero con valores máximos de 72,06 l/hab/d. Además, existen meses del año en el cual el consumo de agua por habitante es inferior con respecto al valor medio, lo que se observa para el mes de marzo en el que se tiene un consumo mínimo de 61,37 l/hab/d. También de la misma figura analizada, se deduce en forma global que en las estaciones de primavera y verano el consumo de agua es mayor respecto a las estaciones de otoño e invierno.

TABLA 3 - CONSUMO PROMEDIO SEGÚN NÚMERO DE HABITANTES/VIVIENDA Y MESES DEL AÑO, 2017

Num. Hab.	Consumo de agua en l/hab/d según meses del año, desde julio 2016 a junio 2017												$\bar{x}$	$\sigma^2$
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun		
1	59,91	54,84	83,33	52,42	56,67	60,48	52,42	67,46	46,59	61,90	44,35	42,86	56,94	123,85
2	53,52	55,72	53,39	54,01	51,49	50,73	53,46	66,90	46,43	48,77	52,93	49,32	53,05	25,83
3	63,31	63,93	65,76	65,54	60,94	61,15	63,14	64,02	53,81	55,97	61,95	56,12	61,30	15,59
4	64,57	69,74	69,49	73,26	66,02	66,54	71,92	71,87	61,50	62,02	68,35	63,03	67,36	16,26
5	70,57	71,88	73,01	76,14	71,19	73,25	77,90	80,51	68,61	67,95	74,02	68,99	72,83	14,76
6	67,73	72,09	71,93	76,63	71,24	70,74	76,74	74,30	66,92	68,01	74,60	64,69	71,30	15,05
7	68,43	68,94	72,15	74,05	73,45	73,86	76,76	73,20	65,59	65,36	71,78	68,56	71,01	12,85
8	69,01	74,54	75,36	77,80	73,57	69,93	79,26	79,34	65,23	68,26	74,12	65,00	72,62	25,67
9	59,50	60,24	64,67	69,96	61,78	61,08	64,23	69,05	60,10	61,63	64,38	65,38	63,50	11,75
10	55,48	57,20	58,89	64,09	63,56	59,35	62,58	70,48	63,44	63,56	62,80	60,67	61,84	15,24
11	43,99	45,70	51,77	52,30	45,45	47,65	53,76	51,41	46,68	45,96	55,23	56,82	49,73	18,70
12	32,26	32,26	58,33	43,01	47,22	43,01	69,89	56,55	56,45	52,78	53,76	61,11	50,55	129,66
13	58,93	55,83	55,77	63,03	58,33	58,56	79,90	72,53	66,00	65,13	72,95	69,74	64,73	6004
$\bar{x}$	59,02	60,22	65,68	64,79	61,61	61,26	67,84	69,05	59,03	60,56	63,94	60,95		
$\sigma^2$	119,39	144,38	91,53	127,19	91,41	94,67	105,20	67,00	67,56	55,10	97,56	63,12		

Para analizar la incidencia del número de habitantes por vivienda y meses del año en el consumo de agua, se ha elaborado la Tabla 3. En esta tabla se observa que los consumos más altos, se dan en hogares con número de habitantes



comprendidos desde 5 hasta 8 integrantes. En viviendas con mayor número de integrantes a lo indicado su consumo por habitante es menor de la misma manera que cuando el número de integrantes en el hogar es reducido. El consumo promedio más alto es de 72,83 l/hab/d para viviendas con 5 integrantes y el más bajo de 50,55 l/hab/d para viviendas de 12 integrantes. Por otro lado, también se aprecia que el consumo promedio más alto por parte del número de integrantes de una vivienda se da en el mes de febrero con 69,05 l/hab/d y el más bajo en julio con 59,02 l/hab/d.

**TABLA 4 - ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA Y DISTRIBUCIÓN F DE SNEDECOR, 2017**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Meses	1630,48	11	148,23	5,28	7,11E-07	1,86
Num.Hab./Vivi.	9781,83	12	815,15	29,02	2,56E-31	1,83
Error	3707,45	132	28,09			
<b>Total</b>	<b>15119,75</b>	<b>155</b>				

Del análisis de varianza mostrado en la Tabla 4, se determina que al menos en un mes el promedio del consumo de agua es diferente a los demás meses. También se determina que en al menos en un grupo del número de habitantes por vivienda el consumo promedio de agua es diferente a los otros. En ambos casos se ha trabajado a un 95% de confiabilidad, siendo el F calculado mayor al F crítico para una probabilidad menor a 0,05. Esta situación indica que el número de habitantes por vivienda y los meses del año influyen en el consumo de agua potable de los habitantes de la zona.

Muchos factores influyen en el consumo de agua potable entre las más importantes tenemos las condiciones climáticas [19], el ingreso familiar [9] y número de habitantes por vivienda. En cuanto a las condiciones climáticas, la zona de Salcedo es gélida, con temperaturas bajas que se presentan en los meses de abril hasta agosto y templadas en los meses de setiembre a marzo, esta situación influye en el consumo de agua potable, con consumos máximos presentes en los meses de octubre, enero y febrero con temperaturas máximas registradas de 18 °C los últimos años.

Respecto al ingreso económico, realizando el contraste con los estudios realizados en Sudáfrica, en el que se considera características asociadas a un área de altos ingresos al que se le debe proporcionar mayor cantidad de agua, entre 250 - 600 litros por día por persona [25], implica que la distribución del agua es inequitativa. Los que tienen altos ingresos económicos gastan más agua respecto a los que tienen ingresos económicos bajos, aunque en menor cantidad respecto a otros lugares del mundo. Por otro lado, el consumo de agua se ve influenciado por el número de habitantes que hay en una vivienda, cuando este índice es menor se consume menos agua debido a que no se tiene necesidades básicas que cubrir a plenitud, de la misma manera se presenta cuando en número de habitantes es mucho mayor a los indicado, debido a que hay mayor control en la racionalización del líquido elemento por los costos que implica su consumo.

El consumo promedio per cápita obtenido en el presente estudio de 66,92  $\approx$  67 l/hab/d difiere de otros estudios y realidades. En Bogotá, a una altitud de 2640 msnm con clima considerado ligeramente frío a templado, algo similar a la zona de estudio en determinadas épocas, se obtuvieron valores de consumo entre 123,88 - 125,24 l/hab/d [22], realidades similares en cuanto a altitud y clima son en la Paz el Alto con consumos promedios que varían según la época entre 60 y 66 l/hab/d similar al consumo determinado. En la Región Puno también, existen estudios que se asemejan a los valores determinados, tal es el caso para la localidad de Vilavila en el que la dotación per cápita de consumo de agua es de 70 l/hab/d [26]. Valores recomendados por la OMS de 100 l/hab/d para condición óptima, indican que la dotación determinada para la zona de estudio estaría frente a un nivel de acceso intermedio, en el que se tiene asegurado la higiene básica personal y de alimentos; pero aún faltaría asegurar la lavandería y el baño; siendo bajo el efecto en la salud [23].

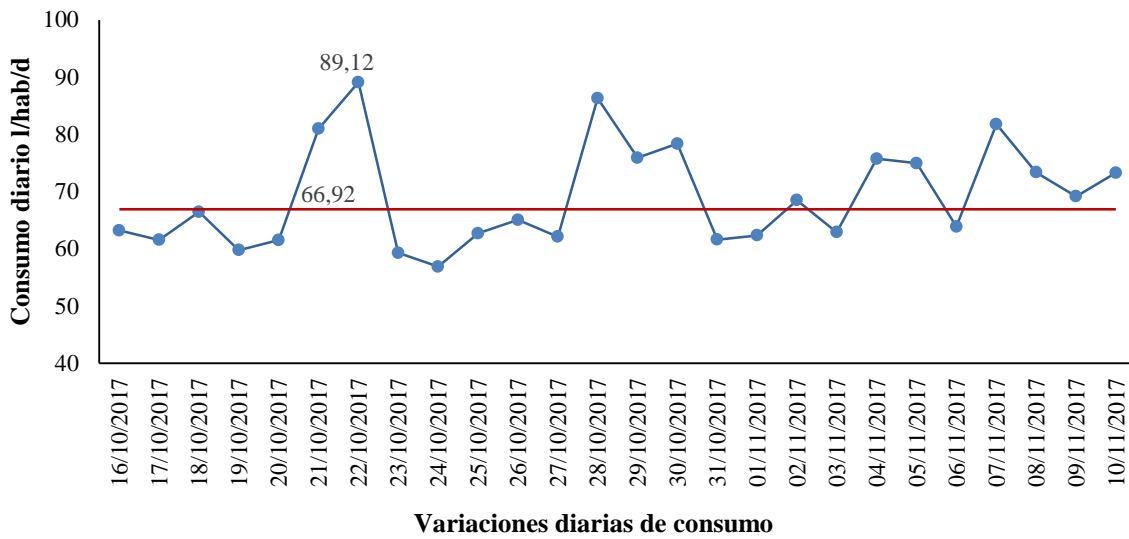
Por otro lado, el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE, 2006) indica que de no existir estudios de consumo se considerará para conexiones domiciliarias una dotación de 180 l/hab/d y para programas de vivienda con lotes de área menor o igual a 90 m<sup>2</sup> de 120 l/hab/d para climas fríos, lo cual no está acorde a los valores determinados en el presente estudio debido a que fue realizado en un determinado lugar, momento y población. Por consiguiente, los valores recomendados por los Reglamentos no se pueden aplicar a ciegas para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua, cada zona presenta características diferentes de su población en el que influyen factores a tomar en cuenta como las condiciones climatológicas, culturales, costumbres de uso agua, etc.

#### 4.2 Variaciones diarias y horarias del consumo de agua.

En el análisis de la variación diaria de agua, se consideró el consumo promedio diario y el día de máximo consumo anual, estimado a partir de datos del mes y día de mayor consumo aforado. Para la determinación de la variación horaria se ha realizado un aforo continuo de consumo por hora y en 26 días dentro de los meses de mayor consumo, determinándose de esta manera los coeficientes de variación de consumo diario y horario  $K_1$  y  $K_2$ . Datos intermedios



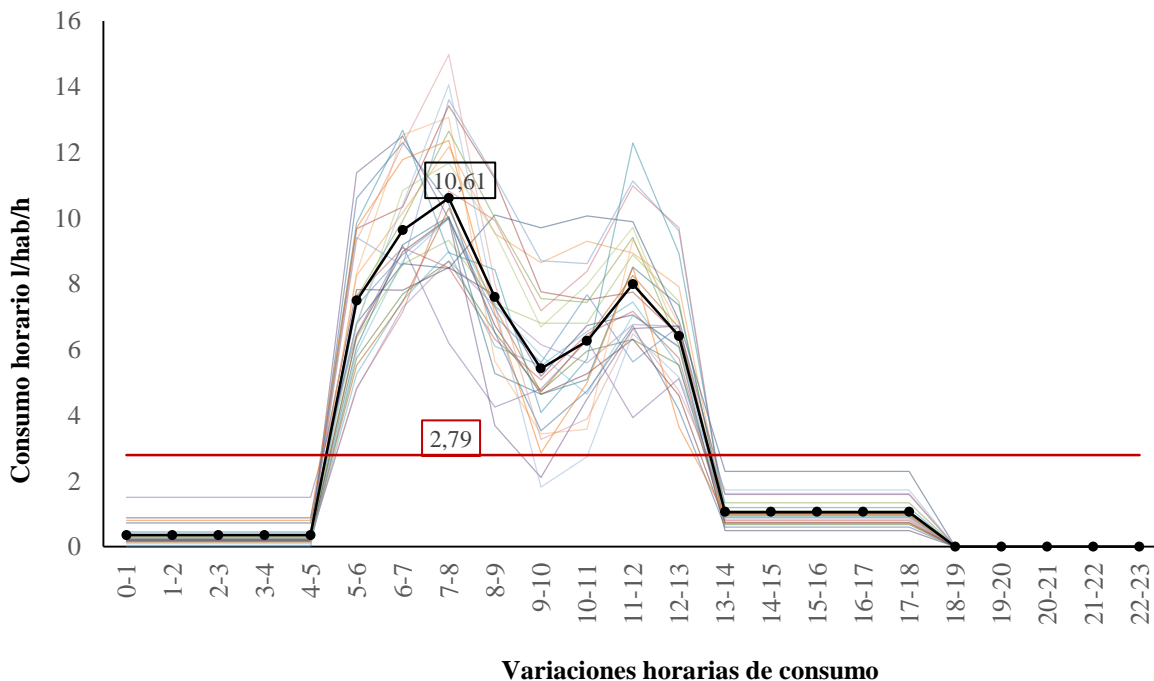
mostrados en la Figura 4 son: días de menor consumo se encuentran dentro del intervalo de lunes a jueves correspondiente al 19, 23 y 24 de octubre del 2017 con 59,77 59, 27 y 56,87 l/hab/d; y días de mayor consumo se presentan los fines de semana (sábados y domingos) con 89,12 y 86,31 l/hab/d correspondientes a los días 22 y 28 de octubre del 2017 respectivamente.



**Figura 4:** Variaciones diarias de consumo de agua y determinación del coeficiente  $K_1$ , 2017.

En la determinación del coeficiente de variación diaria  $K_1$ , acorde a la Figura 4, se ha considerado el día de mayor consumo de agua que corresponde a un caudal máximo promedio de 89,12 l/hab/d lo que equivale a un 133% del consumo promedio diario anual. Por tanto, el coeficiente de variación diaria de consumo determinado es (4):

$$k_1 = \frac{Q_{md}}{Q_p} = \frac{89,12}{66,92} = 1,33 \quad (4)$$



**Figura 5:** Variaciones horarias de consumo de agua y determinación del coeficiente  $K_2$ , 2017.

Para la determinación del coeficiente de variación horaria  $K_2$ , de acuerdo con la Figura 5, se considera el máximo consumo horario promedio de 10,61 l/hab/h presentándose dentro del intervalo de tiempo comprendido entre las 7:00 y 8:00 de la mañana. Este dato ha sido comparado con el consumo promedio horario anual de la población en estudio el cual fue de 2,79 l/hab/d. Por tanto, el coeficiente de variación horaria de consumo determinado es (5):

$$K_2 = \frac{Q_{mh}}{Q_p} = \frac{10,61}{2,79} = 3,80 \quad (5)$$

Además, de la Figura 5 observamos que los consumos máximos horarios se dan durante la mañana, entre las 6:00 y 7:00 am con registros de 9,63 l/hab/d y entre las 7:00 y 8:00 am con 10,61 l/hab/d. Consumos considerables también se presentan entre las 11:00 am y 12:00 pm con registros de 7,99 l/hab/d. Los altos registros mostrados en horas de la mañana son producto de las actividades que se realiza en el hogar como es el aseo, preparación del desayuno, almuerzo, etc. En horas de la tarde, a partir de las 14:00 horas en adelante, el servicio de agua es casi nulo no presentándose consumo en los registros. Esta situación no significa que los habitantes de la zona no consumen agua en horas de la tarde, sino que el líquido elemento se encuentra almacenado en reservorios domésticos para su uso en caso que el suministro de la red sea interrumpido.

Los consumos máximos diarios observados en el lugar de estudio se dan durante los fines de semana, sábado y domingo, debido a que la población permanece en sus hogares realizando labores cotidianas, lo que no ocurre en otras zonas como Bogotá, los valores máximos de consumo son los días lunes de 140 l/hab/d, los demás días están entre 120 - 125 l/hab/d, exceptuando los domingo donde se observa la reducción del consumo neto por persona a 117 l/hab/d [22], situación que se asociada a los hábitos de esparcimiento fuera del hogar y descanso de la población en fin de semana.

El coeficiente de variación diaria  $K_1$  es muy utilizado para el diseño del sistema de captación, línea de conducción y reservorio, el valor medio determinado a partir de la Figura 4 es 1,33 similar a lo sugerido por el Reglamento Nacional de Edificaciones OS 100 de 1,3. Valores tanto menores se encontraron para un estudio realizado en la ciudad del Cusco de 1,24 [27]; el cual se asemeja a lo recomendado por la norma Colombiana, Resolución Número 0330 del 2017, en él se indica que el coeficiente de consumo máximo diario  $k_1$  no debe ser superior a 1,2. En otro estudio realizado en ese país se mostró resultados mucho menores de 1,1088 para los caudales suministrados por la PTAP del Municipio de Sibaté [28] ubicado a 27 km al sur de Bogotá. Por tanto, realidades y costumbres de suministro de agua en otras latitudes son diferentes.

El coeficiente de variación horaria  $K_2$  determinado a partir de la Figura 5 es 3,80; pero el Reglamento Nacional de Edificaciones OS 100 sugiere valores comprendidos entre 1,80 y 2,50 lo cual no refleja la realidad. En un estudio realizado para la ciudad del Cusco se determinó que el coeficiente de variación horaria es de 2,063 [27] comprendido entre los rangos que establece el Reglamento. Entonces, el mal uso del coeficiente  $k_2$  puede llevar por una parte al sobredimensionamiento de las estructuras de suministro de agua y por otra a una señal equívoca para programas de uso eficiente del agua [29]; por lo que, es importante tomar en cuenta estas variaciones de acuerdo a la zona de estudio, porque su utilidad radica en el diseño de la línea de aducción y el sistema de distribución.

La variación en el coeficiente  $K_2$  respecto al Reglamento se debe a que la población de la zona de estudio no cuenta con el abastecimiento de agua potable en forma continua las 24 horas del día, por eso las costumbres de consumo de agua se concentra en horas de la mañana durante el día, incrementándose este coeficiente  $K_2$  a valores por encima del límite superior sugerido por el Reglamento. Las horas de mayor consumo obtenidos en el presente son de 07:00 am hasta las 08:00 am y de las 11:00 am hasta la 13:00 pm, estos resultados se sustentan en el sentido de que las viviendas en estudio son de uso residencial y tienen una tendencia de consumo similar durante la semana.

## 5. CONCLUSIONES

El consumo promedio per cápita de agua potable de los habitantes de la zona urbana de Salcedo - Puno es de 67 l/hab/d, menor al óptimo recomendado por la OMS. En este consumo inciden factores como el ingreso económico, número de habitantes por vivienda, meses del año entre otros. Familias con ingresos económicos altos consumen en promedio 78,85 l/hab/d, mayor respecto a los de ingresos bajos cuyo consumo es de 45,68 l/hab/d. Respecto a la influencia del número de habitantes por vivienda, se ha determinado consumos superiores al promedio de 72,83 l/hab/d, cuando los integrantes del hogar son 5, y consumos inferiores al promedio de 50,55 l/hab/d cuando dichos integrantes de la vivienda son 12. Además, influyen en el consumo de agua factores climáticos, durante los meses del año se registra una variabilidad debido a los cambios de temperatura resultando los meses entre octubre y febrero como las de mayor consumo.

El coeficiente de variación diaria  $K_1 = 1,33$  es similar a los valores recomendados por los reglamentos correspondientes; sin embargo, el coeficiente de variación horaria  $K_2 = 3,80$  difiere ampliamente respecto al Reglamento, debido a que el suministro de agua en la zona de estudio no es continuo durante el día, influyendo además en ésta, actividades cotidianas que la población realiza en horas de la mañanas y fines de semana. Este coeficiente de variación horaria influirá en futuros diseños del sistema de aducción y distribución.

Finalmente, se recomienda realizar los estudios en base a consumos técnicamente justificados y sustentados en informaciones estadísticas y de campo que consideren costumbres, ingreso familiar, número de habitantes por vivienda,

clima, entre otros, de tal manera tener coeficientes más acordes a la realidad de cada zona para los diseños de los futuros sistemas de abastecimiento de agua. Además, para no obtener en estos estudios coeficientes superiores a los recomendados en los reglamentos, se recomienda el suministro continuo de agua durante el día en la zona de estudio, a efecto de no sobredimensionar las tuberías de aducción y distribución en futuros diseños.

## 6. REFERENCIAS

- [1] F. Quadros Rückert, «El poder público y las compañías de abastecimiento de agua en la Provincia de Rio Grande do Sul, Brasil (1822-1889),» *Agua y Territorio*, pp. 22-33, 2018.
- [2] L. Valentin Mballa y F. Hernández-Espéricueta, «Las políticas públicas de abastecimiento de agua potable y saneamiento para la localidad de Escalerillas, San Luis Potosí – México: escenarios y percepción ciudadana,» *Agua y Territorio*, pp. 137-152, 2018.
- [3] L. Cruz García, J. Carreón Guillén, J. Hernández Valdés, M. Montero López y J. Bustos Aguayo, «Actitudes, consumo de agua y sistema de tarifas del servicio de abastecimiento de agua potable,» *Polis Revista Latinoamericana*, pp. 1-34, 2013.
- [4] R. M. Guerrero-Valdebenito, F. Fonseca-Prieto, J. Garrido-Castillo y M. García-Ojeda, «El código de aguas del modelo neoliberal y conflictos sociales por agua en Chile: Relaciones, cambios y desafíos,» *Agua y Territorio*, pp. 97-108, 2018.
- [5] F. Wu, Y. Bai, Y. Zhang y Z. Li, «Balancing water demand for the Heihe River Basin in Northwest China,» *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, pp. 178-184, 2017.
- [6] B. Bates, Z. Kundzewicz, S. Wu y J. Palutikof, El cambio climático y el agua, Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, 2008.
- [7] O. Escolero, S. Kralisch, S. E. Martínez y M. Perevochtchikova, «Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la ciudad de México,» *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, pp. 409-427, 2016.
- [8] O. Márquez Fernández y M. Ortega Márquez, «Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz,» *Revista Mexicana de Opinión Pública*, pp. 41-59, 2017.
- [9] D. Manco Silva, J. Guerrero Erazo y A. Ocampo Cruz, «Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, pp. 11(21) 23-38, 2012.
- [10] R. O. Florez Franco, «Análisis del problema de agua potable y saneamiento: ciudad de Puno, situación actual y realidad,» *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 16, n° 1, pp. 5-8, 2014.
- [11] M. Córdoba, V. Del Coco y J. Basualdo, «Agua y salud humana,» *Química viva*, pp. 9(3) 105-119, 2010.
- [12] B. Guzmán, G. Nava y P. Díaz, «La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012,» *Biomédica Revista del Instituto Nacional de Salud*, pp. 35(2) 177-190, 2015.
- [13] P. F. Martínez-Austria y A. Vargas-Hidalgo, «Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, pp. 139-154, 2016.
- [14] K. Vammen, «Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de las Academias de Ciencias,» *Agricultura, sociedad y desarrollo*, pp. 475-478, 2015.
- [15] J. J. Fernández-Durán y A. Lloret, «Consumo de agua y producto interno bruto en la cuenca Lerma-Chapala,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 7, n° 4, pp. 129-138, 2016.
- [16] S. F. Da Silva, V. Britto, C. Azevedo y A. Kiperstok, «Rational Consumption of Water in Administrative Public Buildings: The Experience of the Bahia Administrative Center, Brazil,» *Water*, pp. 2552-2574, 2014.
- [17] F. Carrasco Choque, «Impacto del consumo de agua potable sobre la salud de los horarios del Perú,» *Revista de investigación en comunicación y desarrollo*, pp. 4(2) 38-52, 2013.
- [18] M. V. Laura Castillo, «Análisis económico del consumo medido de agua potable en la ciudad de Puno,» *Revista de investigaciones altoandinas*, pp. 17(1) 117-124, 2015.
- [19] Á. F. Morote Seguido, «Factores que inciden en el consumo de agua doméstico. Estudio a partir de un análisis bibliométrico,» *Estudios Geográficos*, pp. 257-281, 2017.
- [20] S. Praskievicz y H. Chang, «Identifying the Relationships Between Urban Water Consumption and Weather Variables in Seoul, Korea,» *Physical Geography*, pp. 324-337, 2009.
- [21] R. H. Arreguín-Moreno, R. Román-Pérez, J. F. Laborín-Álvarez, J. L. Moreno, E. A. Valdez y B. Valenzuela, «Factores psicosociales relacionados con el consumo doméstico de agua en una región semidesértica,» *Salud Pública de México*, pp. 321-326, 2009.

- [22] A. J. Garzón Orduña y R. O. Ortiz Mosquera, «Determinación de consumos reales de agua potable para usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá,» XIII Simpósio Iberoamericano de redes de agua, aguas residuales y drenaje, Brasil, 2014.
- [23] G. Howard y J. Bartram, «Domestic Water Quantity,» World Health Organization, Ginebra, 2003.
- [24] V. G. Tzatchkov y V. H. Alcocer-Yamanaka, «Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos,» *Tecnología y Ciencia del Agua*, pp. 115-133, 2015.
- [25] L. Ramulongo, «The nature of urban household water demand and consumption in Makhado Local Municipality: A case study of Makhado Newtown,» *Environmental Sciences*, pp. 182-194, 2017.
- [26] J. L. Tisnado Puma, «Evaluación de la dotación per-cápita para el abastecimiento de agua potable en la población concentrada del distrito de Vilavila – Lampa – Puno,» Repositorio Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2014.
- [27] N. A. Wilson Gonzalez, «Determinación del coeficiente de variación de la demanda diaria y horaria de agua potable de la ciudad del Cusco,» Universidad Andina del Cusco, Cusco, 2016.
- [28] W. Rincón Lozano y W. A. Córdoba Mesa, «Determinación de los factores de mayoración para el consumo de agua potable en el Municipio de Sibaté con respecto a los definidos en la Resolución Número 0330 del 8 de junio del 2017,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2017.
- [29] D. Manco Silva, J. Guerrero Erazo y T. Morales Pinzón, «Estimación de la demanda de agua en centros educativos: caso de estudio Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia,» *Luna Azul*, n° 44, pp. 153-164, 2017.