

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**MODELO DE GESTIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN CERRADA DE
AGUA POTABLE EN RÉGIMEN NO PERMANENTE CONSIDERANDO
EL PATRÓN HÍBRIDO DE DEMANDA**

POR:

M.I. Y M.A. CARLOS DAVID MENDOZA GARCIA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN INGENIERÍA

DIRIGIDA POR DRA. CARMEN JULIA NAVARRO GÓMEZ

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

MAYO 2023



Modelo de gestión de una red de distribución cerrada de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda. Tesis presentada por M.I. M.A. Carlos David Mendoza Garcia como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ingeniería, ha sido aprobado y aceptado por:

M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado

Dra. Cynthia Deisy Gómez Esparza
Coordinador Académico

Dra. Carmen Julia Navarro Gómez
Directora de Tesis

Mayo 2023

Fecha

COMITÉ

Dra. Carmen Julia Navarro Gómez
Dr. Velitchko Gueorquiev Tzatchkov
Dr. Eduardo Florencio Herrera Peraza
Dr. Juan Carlos Burillo Montufar
Dra. María de Lourdes Ballinas Casarrubias



M.I. M.A. CARLOS DAVID MENDOZA GARCÍA
Presente.

En atención a su solicitud de tesis para obtener el grado de Doctorado en Ingeniería, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por la directora Dra. Carmen Julia Navarro Gómez para que lo desarrolle, con el título **“MODELO DE GESTIÓN DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN CERRADA DE AGUA POTABLE EN RÉGIMEN NO PERMANENTE CONSIDERANDO EL PATRÓN HÍBRIDO DE DEMANDA”**.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos

Resumen

Índice de contenido

Índice de tablas

Índice de figuras

Listado de abreviaturas

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

1.2 Justificación

1.3 Objetivos de la investigación

1.4 Hipótesis

1.5 Fundamentación teórica

1.6 Organización de la tesis

1.7 Metodología

Capítulo 2: Análisis del patrón de demanda híbrido en una red de distribución de agua con transición de suministro intermitente a continuo en Riberas de Sacramento, Chihuahua

Capítulo 3: Estudio del consumo doméstico de agua en el abastecimiento intermitente del sector Riberas de Sacramento, Chihuahua

Capítulo 4: Hábitos de agua potable durante el servicio intermitente en el sector Riberas de Sacramento, Chihuahua



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Capítulo 5: Discusión de resultados

Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras

Referencias

Curriculum vitae

ATENTAMENTE

"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

**SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO**

**M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ
MARTÍNEZ**

**FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.**



DIRECCIÓN

DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES

Agradecimientos

Primero que nada, debo agradecerle a mi esposa por aguantar mis desvelos y días enteros enfocado en este proyecto que me alejo un poco de la vida familiar pero gracias a su comprensión y apoyo seguimos siendo una bonita familia. Agradecer también a mis padres por preocuparse por mí siempre que mantuve este camino en pie y me dieron su soporte para seguir adelante. A mis hijos y toda mi familia por estar conmigo durante todos estos años de arduo trabajo apoyándome en todo momento dándome ánimos y energías para salir adelante y trabajar en la realización de este trabajo tan importante para la culminación de un ciclo en mi vida como lo es mi profesionalización como Doctor en Ingeniería.

Agradezco profundamente a mi amigo y colega Dr. Javier Eliel Morales Mendoza por su apoyo y consejos en este camino para culminar el Doctorado ya que fuimos partes de un proceso diferente pero similar por cursar el mismo tiempo cada quien un Doctorado, el en el CIMAV (Centro de Investigación de Materiales Avanzados) y yo en la UACH (Universidad Autónoma de Chihuahua) y pudimos estar compartiendo experiencias cotidianamente que me ayudaron a mejorar ciertos aspectos de este proyecto así como salir en ciertas ocasiones de baches en los que me encontraba sin poder encontrar la salida como lo fueron las publicaciones de artículos con sus constantes revisiones y las experiencias en ponencias referente al tema.

Posteriormente agradezco a mi alma mater la Universidad Autónoma de Chihuahua que es y ha sido mi única fuente de desarrollo desde que inicie mis estudios profesionales, en ella tengo puesta mi fe y respeto para con su sistema y procesos establecidos, permitir el desarrollo de grandes profesionistas en esta gran entidad que es la ciudad de Chihuahua.

Así también agradezco a la Junta Municipal de Agua y Saneamiento y todo su personal que de una u otra forma contribuyeron a la obtención de datos para ser analizados, así como el acceso a sus instalaciones y procedimientos para el conocimiento del sistema actual de abastecimiento y administración del recurso hídrico en la entidad de Chihuahua.

A mis asesores de tesis por su apoyo primeramente en la aceptación para ser parte de este proyecto de investigación que tanto le hacía falta a la ciudad de Chihuahua, así como para ser presentado al exterior por su inminente repercusión en procesos subsecuentes de suministro de agua potable. Su revisión y comentarios de mejora para la elaboración correcta en la expresión de ideas de este trabajo fueron fundamentales para el desarrollo.

Al Ingeniero Manuel Altos Cárdenas como Director Técnico de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua por su apoyo en la gestión para la adquisición de medidores inteligentes que sirvieron de herramienta de trabajo para la obtención de datos de procesamiento en el desarrollo de esta tesis, así como también su apoyo y aliento a culminar esta investigación.

Por último un gran agradecimiento a mi Directora de Tesis la Dra. Carmen Julia Navarro Gómez por haberme alentado todo este tiempo en la elaboración de la Tesis para el estudio, análisis, comprensión y desarrollo de nuevas ideas que mejoren el abastecimiento de agua potable a la población y el entendimiento de situaciones desconocidas en el proceso de investigación de un tema que me permitieron desarrollarme muy ampliamente en este contexto de desenvolvimiento como investigador y el cómo plasmar y presentar esas ideas descubiertas y analizarlas de una manera comprensible y fácilmente visible para el espectador. Así también por su apoyo y dedicación en la contribución de ideas para la realización de este gran tema.

Resumen

En México como en el mundo, existen comunidades que se encuentran en zonas áridas, en las que se emplazan una gran cantidad de poblaciones, quienes requieren el uso del agua potable en cantidades por encima de lo disponible acorde a la zona geográfica; lo cual complica el abastecimiento a la población por la escasez o a la inexistencia de fuentes de abastecimiento adicionales y que se complica, por escasa o mala gestión en la operación de la distribución de las redes de agua potable existentes. Es entonces que los organismos operadores recurren a aplicar medidas drásticas de recortes de tiempo en el suministro de agua, por sectores a determinadas horas del día para satisfacer la demanda, pero esto trae consigo problemas de estrés en las tuberías que propicia fugas, grandes pérdidas de volúmenes de agua y acaparamiento del recurso por parte del usuario en sus almacenamientos domésticos. Aunado a lo anterior, la inexistencia de fundamentos teóricos para la comparación real de datos de consumo en este tipo de suministro intermitente; no permite dimensionar la gravedad y complejidad para el operario.

En la actualidad se utiliza la teoría del suministro continuo y en base a él están calculadas las dotaciones y demanda de la población actuales en los proyectos de construcción a pesar de que se operen de manera diferente.

Aunado a la problemática que se genera operativamente en las redes de distribución y la falta de datos para la estimación de las demandas reales, tanto actuales como para la proyección de valores a futuro con el crecimiento de la población; también existe el malestar e inconformidad de la población residente por recibir un servicio de agua potable suministrado a ciertas horas del día, lo que obliga al usuario a adquirir tanques de almacenamiento como los denominados tinacos o cisternas, con los cuales pueden satisfacer sus necesidades a lo largo del día en las horas que se encuentra cerrado el suministro por parte del organismo operador y no existe agua en la red de distribución.

La capacidad de estos tanques de almacenamiento domésticos y la existencia de los mismos en los hogares dependen de las necesidades y las capacidades económicas de cada familia, es por ello que esta cuestión, que no está normada, añade complejidad al suministro de agua potable.

Actualmente se tiene un insuficiente conocimiento en cuanto a la cantidad y capacidad o tipo de almacenamientos domésticos, es menor el conocimiento de cómo el usuario utiliza el agua almacenada y el mantenimiento que le da a estos depósitos, todo incide o afecta en mayor o menor medida la cantidad de agua que debe suministrar diariamente el organismo operador.

El presente trabajo, genera información que lleva a un entendimiento de cómo se da en la realidad el uso y consumo del agua por parte de los usuarios, así como este conocimiento generado permite implementar una operación más eficiente y eficaz para satisfacer las necesidades del usuario, independiente si el suministro es intermitente o continuo. La definición de la variabilidad del patrón de demanda del usuario cuando se tiene un suministro continuo o intermitente en el mismo sector, a lo que se le denomina PHD (Patrón Híbrido de Demanda); es el objetivo principal del trabajo, porque con la definición de este PHD, se puede implementar de manera estacional la variación de operación, (continuo en invierno e intermitente en verano), lo anterior se da como un requerimiento en el proceso de implementación de la sectorización y gestión de presiones en toda la ciudad, ya que mientras no se termine este proceso, será necesario en los primeros años estar oscilando de forma estacional por el incremento que se da entre el 50% y 100% de la demanda en la ciudad en época de calor. Sin embargo este PHD, permite garantizar la satisfacción de la demanda y tener condiciones controladas de operación.

El modelo de gestión resultante permite suministrar agua potable a los usuarios del sector en diferentes escenarios como los son el suministro intermitente, intermitente controlado o continuo dependiendo de las necesidades del Organismo Operador de la Red, de tal manera que satisfaga las necesidades básicas de las personas y está basado en el PHD que considera las condiciones mínimas requeridas de presión en magnitud que debe presentarse para entregar un volumen de agua en un intervalo de tiempo definido por el operario de la red.



Índice de Contenido

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	3
Índice de Contenido.....	5
Índice de Tablas.....	7
Índice de Figuras.....	8
Listado de abreviaturas.....	12
Capítulo 1: Introducción.....	13
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos particulares.....	20
1.4 Hipótesis.....	21
1.5 Fundamentación teórica.....	21
1.5.1 Redes hidráulicas a presión.....	21
1.5.2 Flujo permanente y no permanente.....	24
1.5.3 Flujo continuo e intermitente.....	25
1.5.4 Modelación de suministro continuo e intermitente.....	26
1.5.5 Demanda determinística y estocástica.....	28
1.5.6 Series de tiempo para el pronóstico de la demanda.....	31
1.6 Organización de la tesis.....	33
1.7 Metodología.....	35
Capítulo 2: Análisis del patrón de demanda híbrido en una red de distribución de agua con transición de suministro intermitente a continuo en Riberas de Sacramento, Chihuahua.....	38
Capítulo 3: Estudio del consumo doméstico de agua en el abastecimiento intermitente del sector Riberas de Sacramento en Chihuahua, México.....	55
Capítulo 4: Hábitos de consumo de agua potable durante el servicio intermitente en el Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, México.....	80
Capítulo 5: Discusión de Resultados.....	101



Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras.....	124
Referencias.....	134
Curriculum vitae.....	140



Índice de Tablas

Tabla 1.1 Diferencias entre flujo continuo e intermitente.....	26
Tabla 1.2. Parámetros del modelo Newman – Scott	30
Tabla 2.1 Caudal medio de los Subsectores.....	45
Tabla 2.2 Consumo de agua en subsectores seleccionados.....	47
Tabla 2.3 Letras de código para tamaño de muestra en inspección reducida (MILSTD 105E)..	51
Tabla 2.4 Cantidades de muestreo obtenidas.....	52
Tabla 3.1 Consumo de agua en subsectores seleccionados.....	59
Tabla 3.2 Datos de medición de Riberas de Sacramento.....	66
Tabla 3.3 Valores de los componentes del coeficiente.....	77
Tabla 5.1 Valores de los componentes del coeficiente.....	118



Índice de Figuras

Figura 1.1 Diagrama de caudales confluyentes a nodos.....	22
Figura 1.2 Curva horaria de la variación de la demanda para todo México.....	28
Figura 1.3 Comparación del caudal medio con la CVHD y los modelos.....	30
Figura 1.4 Series de tiempo para demanda normalizada por patrones de cuatro distritos.....	32
Figura 2.1 Subsectores 1, 2 y 3 de Riberas de Sacramento SIA 2017.....	41
Figura 2.2 Subsectores 1, 2, 3 y 4 de Riberas de Sacramento SCA 2019.....	41
Figura 2.3 Gráfico de fugas de tuberías RDS.....	42
Figura 2.4 Recuento de faltas de agua de la RDS.....	43
Figura 2.5 Comportamiento del flujo del Subsector 1 2018.....	44
Figura 2.6 Comportamiento del caudal del Subsector 1 2019.....	44
Figura 2.7 Variación del consumo de agua de varios subsectores.....	45
Figura 2.8 Mapa de calor de reportes de fugas de agua en sector Riberas de Sacramento con suministro intermitente.....	48
Figura 2.9 Mapa de calor de reportes de fugas de agua en sector Riberas de Sacramento con suministro continuo.....	48
Figura 2.10 Modelo EPANET del Subsector 3.....	50
Figura 2.11 Características del diámetro y materiales existentes en la red de agua potable.....	50
Figura 2.12 Datos de consumo del subsector 3 de ARCGIS.....	51
Figura 2.13 Áreas homogéneas del subsector 3 de ARCGIS.....	52
Figura 3.1 Área de estudio: Riberas de Sacramento.....	59
Figura 3.2 Encuesta sobre las características de los usuarios.....	61
Figura 3.3 Instalación del medidor Contazara CZ4000.....	63
Figura 3.4 Resumen de los factores que influyen en el consumo de agua en Riberas de Sacramento.....	65
Figura 3.5 Flujo de consumo máximo en Riberas de Sacramento.....	68



Figura 3.6 Rango horario de mayor consumo.....	68
Figura 3.7 Clasificación del consumo en orden ascendente.....	70
Figura 3.8 Comparación de las lecturas de los medidores.....	71
Figura 3.9 Comparación de presiones por puntos representativos de zonas.....	72
Figura 3.10 Diagrama de cajas para los rangos de consumo.....	73
Figura 3.11 Análisis multivariante de sedimentación.....	74
Figura 3. 12 Componentes del análisis multivariante.....	75
Figura 3. 13 Análisis de Componentes principales.....	76
Figura 4.1 Medidor de agua ultrasónico y registrador de datos instalados en el RDS.....	81
Figura 4.2 Puntos de medición en RDS.....	83
Figura 4.3 Agrupación de los resultados de la encuesta estandarizada - valores más altos sombreados (parte 1).....	84
Figura 4.4 Agrupación de los resultados de la encuesta estandarizada - valores más altos sombreados (parte 2).....	85
Figura 4.5 Ejemplo de datos de consumo en litros medido con lecturas a cada 15 minutos.....	92
Figura 4.6 Ejemplo de presión de suministro de agua registrada.....	93
Figura 4.7 Conglomerado de mediciones del consumo en litros con lecturas a cada 15 minutos de los hogares y línea de tendencia que representa los patrones de consumo globalizados en RDS.....	94
Figura 4.8 Presión real del suministro de agua y línea de tendencia de la presión media en RDS durante la semana.....	95
Figura 4.9 Factor de demanda de agua para usuarios en RDS. También se muestran los niveles máximo y mínimo de la semana.....	96
Figura 4.10 Patrón de presión de suministro media móvil en RDS. También se muestran los niveles máximo y mínimo.....	97
Figura 4.11 Promedio de presión y factor de demanda en RDS a lo largo del día con valores de consumo en litros ponderados de lecturas a cada 15 minutos.....	98
Figura 5.1 Modelo de Subsector 3 en EPANET	102



Figura 5.2 Revisión de características reales de diámetro y materiales existentes en la red hidráulica existente.....	102
Figura 5.3 Modelo de simulación de consumo y mapa representativo de puntos de medición Zona Riberas de Sacramento.....	102
Figura 5.4 Áreas homogéneas de Subsector 3 en ARCGIS.....	103
Figura 5.5 Gráfica de gasto y presiones de entrada a sector, salida a sector y puntos críticos Riberas de Sacramento con suministro intermitente.....	104
Figura 5.6 Gráfica de gasto y presiones de entrada a sector, salida a sector y puntos críticos Riberas de Sacramento con suministro continuo.....	105
Figura 5.7 Comparativa de reportes recibidos por la JMAS del 2017 al 2019 de Faltas de Agua.....	106
Figura 5.8 Comparativa de reportes recibidos por la JMAS del 2017 al 2019 de Fugas.....	106
Figura 5.9 Variación de consumo de agua de varios subsectores.....	107
Figura 5.10 Resumen de factores que influyen consumo de agua en Riberas de Sacramento.....	108
Figura 5.11 Comparación de presiones de puntos representativos.....	110
Figura 5.12 Niveles de servicio de agua potable en base a presión establecidos por JMAS.....	110
Figura 5.13 Duración de ciclo de servicio con base en presión suministrada de manera intermitente.....	111
Figura 5.14 Duración de ciclo de servicio con base en presión suministrada de manera continua.....	112
Figure 5.15 Ejemplo de datos de consumo en punto de medición.....	112
Figure 5.16 Ejemplo de datos de presión en punto de medición.....	113
Figura 5.17 Componentes de Análisis Multivariado.....	114
Figura 5.18 Conglomerado de resultados de encuesta estandarizada con valores más altos marcados (parte 1).....	115
Figura 5.19 Conglomerado de resultados de encuesta estandarizada con valores más altos marcados (parte 2).....	116



Figura 5.20 Valores de suministro de presión y línea de promedios en Riberas de Sacramento durante una semana.....	117
Figura 5.21 Análisis multivariable de sedimentación.....	118
Figura 5.22 Conglomerado de mediciones de consumo en domicilios y la media móvil representando el patrón de consumo en Riberas de Sacramento.....	119
Figura 5.23 Promedio de presión y Factor de Demanda de un día en sector Riberas de Sacramento.....	120
Figura 5.24 Registro de Caudal y Presión de sector suministrado con suministro continuo optimizado con gestión de presiones.....	121
Figura 5.25 Comportamiento diario sin control de presión.....	123
Figura 5.26 Comportamiento diario con control de presión.....	123



Listado de abreviaturas

Abreviatura	Significado
ACP	Análisis por componentes principales
CIMAV	Centro de Investigación de Materiales Avanzados
UACH	Universidad Autónoma de Chihuahua
CVD/CVH	Curva de Variación diaria/horaria
PAF	Patrón de acción fija
Ec	Ecuación
PRP	Pulsos Rectangulares de Poisson
SIA	Suministro de agua Intermitente
SCA	Suministro de agua Continuo
SCO-GP	Suministro continuo optimizado con gestión de presiones
RHD	Red Hidráulica de distribución de agua
RDS	Riberas de Sacramento
JMAS	Junta Municipal de Agua y Saneamiento
MIL-STD	Military Standard
VRP	Válvula Reguladora de Presión
PHD	Patrón Híbrido de Demanda
GP	Gestión de Presiones
mca	Metros Columna de Agua



Capítulo 1: Introducción

Este trabajo establece una metodología para caracterizar el diseño experimental y analizar el patrón híbrido de demanda para una red de distribución de agua en transición de suministro intermitente a continuo y así tener una base para la definición de un modelo de gestión que defina la operación adecuada de una red de distribución de agua para un sector en función de la demanda y el tipo de suministro disponible. Sobre el comportamiento de la red, los criterios de operación del sistema y la demanda del sector, se realizó un análisis de la situación del suministro de agua durante la transición de suministro intermitente a continuo en un sector referente denominado Riberas de Sacramento. Para el análisis del consumo, se analizaron tres años consecutivos de datos recogidos por la institución gubernamental a partir de micromedidores. Con el fin de caracterizar el patrón de demanda híbrida para operar la red, el análisis previo del sitio determinó las cantidades mínimas de presiones y registros de consumo para obtener series de datos para el análisis. Después de la revisión de la transición de suministro de agua intermitente a continuo y el establecimiento de la metodología para caracterizar el patrón de demanda híbrido, se requiere de un patrón de demanda híbrido, y este diseño de experimento da parte para lograrlo.

La demanda de agua de los usuarios puede satisfacerse en los sistemas de abastecimiento intermitente, y normalmente se satisface si tienen capacidad suficiente para almacenar agua en sus hogares para utilizarla en las horas en que no se suministra desde la red pública de tuberías (Saldarriaga, 1998). La situación en muchos sistemas intermitentes de suministro de agua es que disponen de agua suficiente para cubrir la demanda de los usuarios pero la suministran de forma intermitente, y el reto es conseguir pasar del suministro intermitente al continuo. Si el suministro de agua es continuo, que suministra agua potable 24 horas al día, 7 días a la semana, se cubren no sólo las necesidades básicas del usuario, sino todas las necesidades de agua que puedan tener (Tzatchkov et al, 2014). El presente estudio se ha realizado utilizando medidores de agua domésticos inteligentes para obtener información sobre el consumo en un sector piloto con suministro intermitente. Los medidores electromagnéticos registran el caudal de agua a través de



pulsos y generan información de consumo, que nos proporciona el patrón de consumo en volumen de agua y en tiempo de uso.

Se aplicaron métodos estadísticos multivariantes para obtener información de los medidores domésticos e identificar, de la forma más realista posible, el consumo de agua potable y la relación entre el consumo y las características específicas de los usuarios y anticipar así la demanda futura. Los resultados mostraron una estrecha relación entre el consumo y el tamaño de la residencia. Los factores más influyentes fueron el número de cuartos de baño y el número de ocupantes. Se instalaron equipos para medir la presión en la red en el momento de establecer el suministro continuo de agua potable. El análisis multivariado proporciona una selección de las variables más importantes que influyen y explican el comportamiento del patrón de uso y consumo de agua, con la operación determinada por el organismo operador.

La percepción de un servicio prestado puede obtenerse mediante encuestas subjetivas basadas en las características físicas, económicas y sociales de la población (Dorantes 2016). Este trabajo tiene un enfoque en el uso de encuestas estandarizadas para obtener la percepción de los usuarios de un servicio de agua potable, así como la medición del consumo doméstico con medidores de agua y datos de presión, utilizando registradores especializados para identificar patrones diarios de uso y consumo de agua. Mediante el análisis de los hábitos de consumo y las mediciones correspondientes, se pueden identificar los factores que indican los patrones de uso del agua potable entre los habitantes del sector a lo largo del día, la semana y el mes, tomando en cuenta los factores climáticos. Un punto importante que se define es el factor de demanda, para indicar puntos clave en la estimación de la demanda existente y futura en base a un suministro intermitente. Se incluye una propuesta de modelo de gestión basado en el factor de demanda, con el que se resuelven las necesidades de consumo del sector y se hace eficiente el abastecimiento de agua potable. Los resultados obtenidos permitieron conocer las pérdidas de agua, la conciencia del valor del servicio de agua potable y el interés de los usuarios por cuidarlo.



1.1 Antecedentes.

A través del mundo, las naciones generalmente son clasificadas como desarrolladas o en vías de desarrollo (Ochoa, 2014). La diferencia fundamental estriba en que las naciones desarrolladas tienen alto nivel económico, seguridad, calidad de vida y salud. Un factor principal que es indicador del desarrollo y nivel de vida en las comunidades es la infraestructura hidrosanitaria, por ello, cuando más completo y eficiente se tenga el ciclo hidráulico urbano, (desde la captación hasta el reúso del agua) mayor nivel y desarrollo se tiene en esa comunidad.

La infraestructura hidráulica en las ciudades según una investigación de la Organización para la cooperación y desarrollo económico está envejeciendo (OECD, 2016), la tecnología está obsoleta y los sistemas de gobernanza a menudo no están bien equipados para atender la creciente demanda, los desafíos ambientales, el continuo proceso de urbanización, la variabilidad climática y los desastres naturales.

La gobernanza del agua en las ciudades se ve influenciada principalmente por las leyes nacionales y regulaciones. Los problemas del agua se encuentran llamando la atención de la sociedad y cada vez es mayor la pugna para que los gobiernos e instituciones determinen mayores esfuerzos y recursos económicos para el cumplimiento de la agenda de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en cuanto a la satisfacción del derecho al agua y saneamiento.

Comprender los factores que determinan la gobernabilidad del agua urbana puede ayudar a diseñar respuestas más efectivas y determinar prioridades. Sin embargo, a pesar de esta comprensión de los patrones cambiantes, la incertidumbre y las restricciones influyen en gran medida en la gobernanza y definen prioridades de acciones para el futuro.

Las tuberías son el conducto que permite fluir el agua, desde el punto donde se extrae o capta el recurso hídrico hasta el suministro al usuario final; para evaluar el funcionamiento hidráulico de las redes de distribución que soportan el almacenamiento, transporte y distribución hay que analizar los sistemas de bombeo que presurizan la red para lograr el movimiento del agua a través de ellas, los tanques de regulación y almacenamiento que como su nombre lo dice regulan y amortizan los picos de demanda en el suministro del agua y la almacenan para satisfacer diversos



tipos de demanda, así también las válvulas y piezas especiales que integran la red y permiten el flujo adecuado a través de la misma.

Existen dos tipos de redes de distribución por definición. Un tipo de red de distribución abierta, se caracteriza por contar con una tubería principal de distribución (la de mayor diámetro) desde la cual parten ramales que terminarán en puntos ciegos, es decir sin interconexiones con otras tuberías en la misma red de distribución de agua potable (Tutorialesaldia, 2023).

En una red cerrada, se logra la conformación de mallas o circuitos a través de la interconexión entre los ramales de la red de distribución de agua potable. Generalmente la configuración más económica queda definida por la red del tipo abierto, aunque la principal desventaja de las redes del tipo abierto es que, ante la falla o rotura de alguna de las tuberías que la conforman, se tendrá que afectar (dejar sin servicio) a todos los usuarios que estén atendidos desde las tuberías aguas abajo de la rotura, mientras se realiza la reparación necesaria (Tutorialesaldia, 2023).

El particionamiento de una red de agua, como sinónimo de división en distritos hidrométricos, es una metodología de gestión importante que se ha aplicado en muchos países alrededor del mundo. Una variante aplicable a redes con múltiples fuentes consiste en dividir el sistema de agua en distritos independientes, cada uno de ellos alimentado por su fuente de agua (o fuentes de agua) sin conexiones a otros distritos, con el fin de lograr sectores con suministro independiente (Tzatchkov et al, 2014).

Los distritos hidrométricos facilitan las acciones que deben tomarse para mejorar el control y la gestión de aspectos importantes de la distribución de agua, tales como la calidad del agua (sin mezcla de agua de diferentes fuentes), y la definición de la intensidad y la distribución espacial y temporal de las fugas. Estas acciones pueden incluir: a) eficiencia hidráulica y agua no facturada; b) curva de variación de la demanda del agua, y de manera especial el gasto nocturno; c) detección de fugas, por análisis de la evolución del gasto nocturno d) fraude y sub medición, o detección de errores de medición, e) planificación de las inversiones destinándolas a los sectores con más agua



no contabilizada; f) aislamiento de los distritos para proteger la red de agua de la contaminación accidental o maliciosa g) manejo de presiones en los distritos (Tzatchkov et al, 2014).

La planeación y el diseño de las redes hidráulicas plantea que el agua fluya de una manera adecuada, sin embargo, pueden ocurrir fallas o requerimientos de operación en el sistema que provoquen cambios en el tipo de flujo, generando fugas en la red y estas pueden ser visibles o no, esto depende de cuál sea la magnitud de la fuga, en que parte del sistema, en el tipo de suelo en que este emplazada la red.

La premisa de diseño y de planeación para su operación es, el suministro de agua a través de las tuberías en un flujo continuo. Es por ello que todos los modelos o esquemas de diseño no prevén un desalojo o vacío de las tuberías después de iniciar con el llenado para el suministro desde la primera vez, es decir desde que inicia el suministro y se llena la tubería por primera vez, el sistema de distribución debe estar presurizado (Starczewska et. al, 2015). Las condiciones actuales en muchas comunidades no cumplen en operación con las premisas de diseño de un flujo continuo o permanente, lo que provoca problemas tanto en: el sistema de tuberías ya que con el flujo intermitente se presentan fenómenos transitorios caracterizados por succiones que generan debilitamientos en la red y fallas a futuro, como en la calidad del servicio que se da al usuario final.

1.2 Justificación.

En la actualidad existen localidades que se enfrentan con la problemática que los sistemas de distribución de agua potable pasan del diseño con un flujo continuo o permanente, que obedecen al patrón de demanda establecido con una curva de variación diaria/horaria (CVD/CVH), a una operación con flujo no permanente o intermitente, de forma tal que operar de esta manera el sistema de red de distribución de agua potable se dificulta y no brinda un adecuado servicio a los usuarios de una comunidad ya que no se ajusta a los parámetros de diseño y carece de un modelo de gestión definido para brindar un servicio aceptable con buena presión y disponibilidad las 24 horas del día (Tzatchkov et al, 2014). Este patrón de servicio en flujo no permanente, se establece con condiciones supuestas por el operador sobre el tiempo de llenado de la red vacía, sin considerar



una homogeneidad del tiempo de residencia del líquido en la red, presiones de servicio mínimas o máximas en el sector suministrado, este Patrón es de Acción Fija (PAF), definido por la pericia del operador y la retroalimentación del usuario final.

En los últimos años investigaciones sobre la utilización del PAF, muestran que tienen más desventajas conforme pasa el tiempo de uso en el sector, provocando mayor volumen de agua no utilizada por el usuario final y grandes inversiones recurrentes en la rehabilitación o sustitución de tramos de la infraestructura por las ocurrencias de fugas, así como la insostenibilidad económica de operación derivada del descontento del usuario final (Agathokelous y Chistodoulou, 2016). Existen investigaciones que demuestran que pasar de un flujo no permanente o intermitente a la continuidad, genera grandes problemas económicos y de complejidad de operación para el operador, ya que el sistema responde con mayores ocurrencias de fugas, por lo cual el operador desiste y vuelve al PAF.

El análisis de ambos patrones permitirá la definición de una metodología que pueda garantizar el éxito del paso del PAF al continuo con base a las condiciones requeridas por los comportamientos de CVD/CVH, este patrón debe considerar las características y costumbres de uso del Usuario final (contemplando el almacenamiento particular del usuario), más las limitaciones de la red operada por años en un flujo no permanente, estableciendo parámetros teóricos/prácticos para la operación de presiones y caudales de suministro en horas pico y en horario nocturno, es decir un Patrón Híbrido de Demanda (PHD). Como definimos un PHD, al comportamiento que se determina con las condiciones mínimas requeridas para la satisfacción de las necesidades del usuario en un tiempo determinado por el horario de servicio establecido por el operario, basado en el intervalo de tiempo que debe permanecer la presión y la magnitud de esta, así como la distribución en forma espacial de este indicador (presión), para tener un mejor manejo y control del fallamiento de las redes.

Para lo cual es indispensable conocer el comportamiento de la red, los criterios de operación y la demanda real del sector, esto se debe iniciar con la documentación de algunos de los posibles factores que pueden influir: costumbres de uso del agua, topología de la red, variación



en la topografía, presencia de fugas físicas, tomas clandestinas que afectan el suministro, consumos muy altos durante la madrugada e instalaciones de almacenamientos domiciliarios.

Para la obtención de esta metodología, se aplica en un sector de la ciudad de Chihuahua denominado Riberas del Sacramento, donde el objetivo es reducir el gasto suministrado al sector, basándose en la teoría de que un servicio continuo después de saturar la red y tinacos de domicilios, suministra un menor gasto al verse reflejada solo la demanda instantánea del usuario.

Se entrega al sector con un suministro intermitente, una dotación por tiempo, no definida por la demanda dependiente solo de la apertura de la válvula de suministro al sector (Coronado et. al, 2017). Se eligió este sector, dado que de tener suministro intermitente se incorporó al servicio continuo 24hrs, sin embargo, el sector no se reflejó un comportamiento típico como ya se explicó en un párrafo anterior, ya que el gasto permanecía constante y no disminuía en la noche.

Actualmente los estudios de suministro y distribución de agua potable en redes se basan en curvas de variación horaria de la demanda para llevar el agua necesaria a los domicilios (Arreguin et. al, 2010). Estas curvas fueron diseñadas para calcular el consumo en bloque, es decir, para un conjunto de sectores alimentados por una línea de distribución, sobre la cual se toman mediciones para caracterizar el gasto que transita en ella a lo largo del día.

En el caso de la presente investigación considera el consumo estocástico de los usuarios por sector, ya que su comportamiento no permite utilizar las curvas de variación horaria de la demanda. Debido a que requiere del enfoque más preciso de los patrones de consumo de los usuarios por sitio y no por bloque.

Para la modelación del consumo estocástico de los usuarios, se cuenta en la actualidad con métodos como: el de pulsos rectangulares de Poisson o el de Newman Scott, los cuales toman en cuenta variables de intensidad, frecuencia y duración de pulsos de consumo para generar series sintéticas de consumo afines al patrón de comportamiento de los usuarios (Creaco et. al, 2017).

El modelo de gestión pretende definir una operación adecuada de la red de distribución para un sector en base a la caracterización de la demanda y el tipo de flujo existente, con ello suministrar un mejor servicio a los usuarios (Xhafa, Avdullahu, Ahmeti, 2016).



La utilización de la curva de variación horaria asume el mismo patrón de consumo o promedia el patrón de consumo en el sector sin considerar las costumbres reales de las familias del sector (Palma et. al, 2014). Por otro lado cada familia tiene un patrón de consumo diferente en base a particularidades como: la infraestructura que les hace llegar el servicio, factores socioeconómicos que los definen y rasgos operativos actuales, como el uso de tinacos para satisfacer la necesidad del servicio cuando se encuentra suspendido por tandeo, que al reanudarse el servicio se debe llenar primero los depósitos antes de brindar servicio directo para los usos de los usuarios.

Cabe señalar que la presente investigación busca mejorar el servicio de suministro de agua potable, al analizar un sector real para poder definir un modelo de gestión que detalle la administración y operación del sistema, que proporcione lineamientos para mejorar el servicio en base a la obtención de parámetros de medición en campo y estimados con herramientas de modelación matemática.

Se realizará una exhaustiva revisión bibliográfica de casos de aplicación reales y proyectos de investigación actuales.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Definir un modelo de gestión de una red de distribución cerrada de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda.

1.3.2 Objetivos particulares.

1. Obtener actualización de la topología de la red existente de zona de estudio para tener una mayor certeza en los posteriores análisis que se realicen y requieran de esta información.
2. Caracterizar el comportamiento hidráulico de la zona de estudio para conocer el comportamiento actual del suministro de agua potable a la población.



3. Caracterizar el diseño de experimento para analizar suministro de agua potable en servicio continuo e intermitente.
4. Analizar la transición de suministro intermitente a continuo en sector particular con datos históricos de consumo.
5. Caracterizar zona de estudio para determinar cantidades mínimas de registros.
6. Identificar valores de satisfacción de demanda en servicio intermitente.
7. Diferenciar cobertura de necesidades en el servicio continuo e intermitente.
8. Recolectar datos de consumo y presión en domicilios para análisis.
9. Analizar mediante métodos estadísticos multivariados la información recopilada de presión y consumo de agua potable en domicilios de un sector en específico.
10. Aplicar encuestas para identificar características físicas, económicas y sociales de la población.
11. Identificar variables más importantes que influyen en el patrón de uso y consumo de agua potable de los usuarios.
12. Identificar factores que indican patrones de uso de agua entre habitantes de sector a lo largo de un día, una semana o un mes tomando en cuenta la época del año.
13. Identificar la conciencia social del valor del servicio de agua potable y el interés de los usuarios por cuidarla.
14. Proponer un modelo de gestión en base al patrón híbrido de demanda.

1.4 Hipótesis.

Es posible definir un modelo de gestión de una red de distribución cerrada de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda.

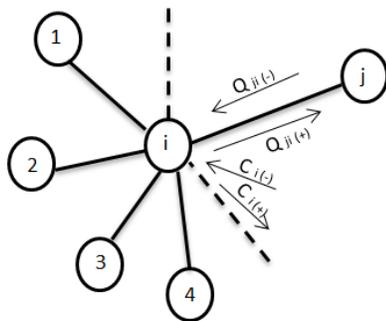
1.5 Fundamentación teórica.

1.5.1 Redes hidráulicas a presión.



El comportamiento de una red hidráulica se rige por las ecuaciones de continuidad en nodos y de conservación de la energía, así como la relación de diferencias de alturas piezométricas de los extremos y su caudal (Saldarriaga, 1998). Las incógnitas que se buscan son presiones y caudales. Así se obtienen dos sistemas de ecuaciones no lineales (uno de continuidad en nodos y otro en pérdidas de carga), de las cuales se obtienen presiones y caudales al resolver por medio de algún método de ecuaciones no lineales como lo es el de Newton – Raphson.

La ecuación de continuidad (Ec. 1), en nodos dice que la suma algebraica de los caudales que confluyen en el nodo debe ser cero (Figura 1.1).



$$\sum_{i=1}^{nt} Q_{ij} = C_i \quad (1)$$

$$Q_{ij} = \text{caudal en línea } ij$$

$$nt = \text{numero total de líneas}$$

$$C_i = \text{caudal de alimentación o suma en } i$$

Figura 1.1 Diagrama de caudales confluyentes a nodo (Saldarriaga, 1998).

La ecuación de conservación de la energía (Ec. 2), dice que la energía por unidad de peso del fluido en la sección aguas arriba (E1), más la energía por unidad de peso cedida al mismo a través de elementos como bombas (hb) en el trayecto 1 a 2 es igual a la energía por unidad de peso en la sección aguas abajo (E2) más las pérdidas de energía (h1-2).

$$E_1 + hb = E_2 + h_{1-2} \quad (2)$$

La ecuación de la energía por unidad de peso es la siguiente (Ec. 3):

$$E = \frac{\rho}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

$$\frac{\rho}{\gamma} = \text{altura de presión} \quad z = \text{cota piezométrica} \quad \frac{v^2}{2g} = \text{altura cinética}$$

Las ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red son aquellas que establecen una relación entre la diferencia de alturas piezométricas entre los extremos del elemento y el caudal circulante.



La pérdida de carga o altura piezométrica en una tubería debida a la fricción por el paso del agua se puede calcular de varias maneras según distintos autores; Darcy – Weisbach (para todo líquido y régimen), Hazen – Williams (solo agua), Chezy – Manning (para canales y tuberías de gran diámetro).

Ecuación Básica de pérdida de carga (Ec. 4):

$$h_L = A Q^B \quad (4)$$

$$h_L = \textit{perdida de carga}$$

A = Coeficiente de resistencia

Q = Caudal

B = Exponente de caudal

El coeficiente de resistencia varía en las ecuaciones de acuerdo al autor que experimento y desarrollo las magnitudes para cada material de tubería, así como el exponente de caudal, para aplicar algunas de las ecuaciones se debe considerar el número de Reynolds dentro de ellas.

En bombas, la altura suministrada se considera perdida con signo contrario (Ec. 5).

$$h_{ij} = -w^2 \left(h_o - r \left(\frac{Q_{ij}^n}{w} \right) \right) \quad (5)$$

h_{ij} = altura suministrada

w = velocidad relativa de giro

h_o = altura de caudal nulo

r = parámetro de la curva de bomba

n = parámetro de curva de la bomba

Q_{ij} = caudal de i a j



La pérdida localizada en válvulas activas y accesorios se evalúa como el producto de la altura cinética multiplicada por el coeficiente de pérdidas (k), (Ec 6).

$$h = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (6)$$

La mayoría de los modelos hidráulicos de conductos a presión, como por ejemplo EPANET, aplican el método iterativo del gradiente para resolver la red hidráulica, así como técnicas basadas en el método Newton – Raphson y resolviendo por un algoritmo de factorización incompleta para una cierta tolerancia iterativa.

1.5.2 Flujo permanente y no permanente.

Si los parámetros de tirante, velocidad, área, etc., permanecen iguales y no cambian respecto al tiempo (Ec. 7), se considera flujo permanente (Henrie et. al, 2016).

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial a}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

Si los parámetros cambian respecto al tiempo (Ec. 8), se considera flujo no permanente.

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial a}{\partial t} \neq 0 \quad (8)$$

Se puede considerar que el flujo es no permanente en una red en operación debido al consumo de los usuarios de la red ya que es variado y afecta la velocidad, presión y gasto con el tiempo. Los usuarios conectados a la red consumen el agua con comportamiento discreto y el flujo a causa de la suma de estos consumos en la red, se da de forma continua, condicionado a la existencia de presiones positivas en la red, haciendo que el flujo se torne no permanente.



1.5.3 *Flujo continuo e intermitente.*

Las redes de distribución de agua con servicio intermitente operan por un tiempo limitado, solo cuando se proveen de agua. La cantidad de agua que el usuario puede captar depende de la presión en su conexión y la duración del servicio, no siempre la demanda se satisface (Tzatchkov et. al, 2014).

La operación de dichas redes intermitentes es dependiente de la presión y debería ser modelada de esa manera a diferencia del servicio continuo donde los modelos son dependientes de la demanda (Tabla 1.1).



Tabla 1.1. Diferencias entre flujo continuo e intermitente (Saldarriaga, 1998).

DIFERENCIAS ENTRE FLUJO CONTINUO E INTERMITENTE		
Concepto	Continuo	Intermitente
Demanda	Satisfecha en cada momento e independiente de la presión.	Depende de la presión. El gasto que ingresa a un tinaco es $q=Cp^2$ donde q es gasto, p es presión y c un coeficiente de área y geometría del orificio, que es 0.50 para área de descarga constante.
Presión mínima	El diseño busca diámetros de tuberías y cargas de tanques y bombas que garantice presión mínima.	La presión que se requiere es aquella para llenar tinacos que depende de la altura de edificios.
Variación horaria de demanda	Depende de costumbres y hábitos.	Hay horarios preestablecidos.
Coefficiente de variación de demanda	Relación de gasto máximo y medio para revisar capacidad.	El gasto será uniforme por lo que la duración del servicio define el coeficiente $CV=24/N$. Así para 6 hrs diarias tendrá un coeficiente de 4, mucho mayor que uno de servicio continuo del orden de 1.4 a 1.6.
Llenado inicial	Siempre llenos	Las tuberías se vacían y llenan nuevamente cada vez que se interrumpe el servicio.

1.5.4 Modelación de suministro continuo e intermitente.

En el pasado se diseñaban las redes con el denominado “Método de Cross”, analizando solo los circuitos principales y la tubería secundaria era considerada de relleno. En cambio, hoy en día existen modelos de simulación y software comercial con los que se pueden diseñar todos los tramos y nodos de la red a una velocidad tal que permite realizar cálculos en cuestión de segundos (CONAGUA, 2011). De esta manera, las opciones de análisis se multiplican y es posible mejorar los diseños de sectores hidrométricos en redes de agua potable, los cuales son áreas de la red delimitadas geográficamente y aisladas unas de otras, con una obra de captación y suministro directa e independiente.

La gran mayoría de los modelos conocidos de redes de distribución, como EPANET y otros, manejan los modelos de período extendido que asumen flujo continuo y permanente en las tuberías de red durante un cierto intervalo de simulación (por lo general una hora) y una demanda



de agua constante durante el mismo intervalo. Es decir, capturan un instante en la distribución del flujo del agua en el sistema.

El flujo en algunas redes de distribución de agua es intrínsecamente continuo y no permanente, ya que los usuarios de agua conectados a las tuberías de la red generan una demanda dependiente del uso o consumo, que impacta en la presión del sistema, en otras circunstancias el flujo en la tubería se vuelve discontinuo y no permanente, lo cual hace que el uso o demanda sea dependiente de la presión disponible en la conexión del usuario para el llenado de tanques estacionarios y uso en el hogar simultaneo al llenado o posterior al este.

Para un flujo intermitente, los nodos de demanda pueden ser representados por pequeños tanques o demandas dependientes de la presión. Es práctico colocar un depósito por cruce o unión localizado en el centro de gravedad del área de influencia de usuarios. Se tiene que agregar tubería que representa la toma domiciliaria, la cual conecta al depósito con la unión.

Para modelar llenado y vaciado de tinacos se debe simular demanda, así que se agrega tubería que sale del depósito y la demanda se agrupa en un punto final. Cada tinaco debe tener niveles máximos y mínimos.

Cuando no hay información precisa de tinacos o hay una red muy grande se puede utilizar el procedimiento en que la demanda en cada nodo es función de la presión en ese nodo, permitiendo que la demanda sea cero cuando no hay presión suficiente. Cuando la carga de presión sea igual o inferior a un valor mínimo p_{min} , la demanda de agua es cero. Cuando es igual o superior a un valor límite máximo p_{max} , la demanda del usuario $q_{i max}$ se satisface completamente; y cuando está entre los valores máximos y mínimos, la demanda de agua está relacionada con la presión con una función creciente (Cabrera y Tzatchkov, 2012). En términos matemáticos (Ec. 9, 10, 11).

$$q_i = 0 \text{ para } p_i \leq p_{min} \quad (9)$$

$$q_i = q_i(p_i) = q_{i max} \sqrt{\frac{p_i - p_{min}}{p_{max} - p_{min}}} \text{ para } p_{min} > p_i > p_{max} \quad (10)$$



$$q_i = q_{i \max} \text{ para } p_i \geq p_{\max} \quad (11)$$

p = presión

q = demanda

1.5.5 Demanda determinística y estocástica.

Existen dos criterios o enfoques básicos para simular sistemas de demandas de agua: el primero, a través del uso de un Modelo Determinístico y el segundo, en base a un Modelo Estocástico. Con los modelos determinísticos se pretende simular de manera continua en el tiempo una sucesión de eventos a intervalos cortos y la comprobación de la validez del modelo se realiza por comparación con la sucesión de eventos observados (Campos, 1984).

Los modelos de simulación estocásticos evalúan los parámetros estadísticos que describen la respuesta del sistema de demandas de agua y se utilizan posteriormente en la generación de series de datos. Con los modelos estocásticos no se busca una simulación continua de eventos, sino la generación de series no observadas de igual probabilidad de ocurrencia que las observadas, es decir, fundamentalmente consiste en predecir a grandes intervalos los valores característicos de la respuesta del sistema y no su valor instantáneo (Campos, 1984). En estos modelos algunos de los datos no se conocen, incorporando mayor incertidumbre, para lo cual se realizan mediciones.

El caudal de consumo de agua de una población cambia con las estaciones del año, los días de la semana y las horas del día. Una de las variables hidráulicas de estos modelos es el consumo doméstico, mismo que ha sido idealizado como una variación temporal horaria. A esto se le conoce como “Curva de Variación Horaria de la Demanda”, como se observa en la Figura 1.2, propuesta para el comportamiento de la demanda, y es utilizada en programas comerciales de modelación de redes de agua potable, como EPANET, InfoWorks y ScadRED, entre otros.

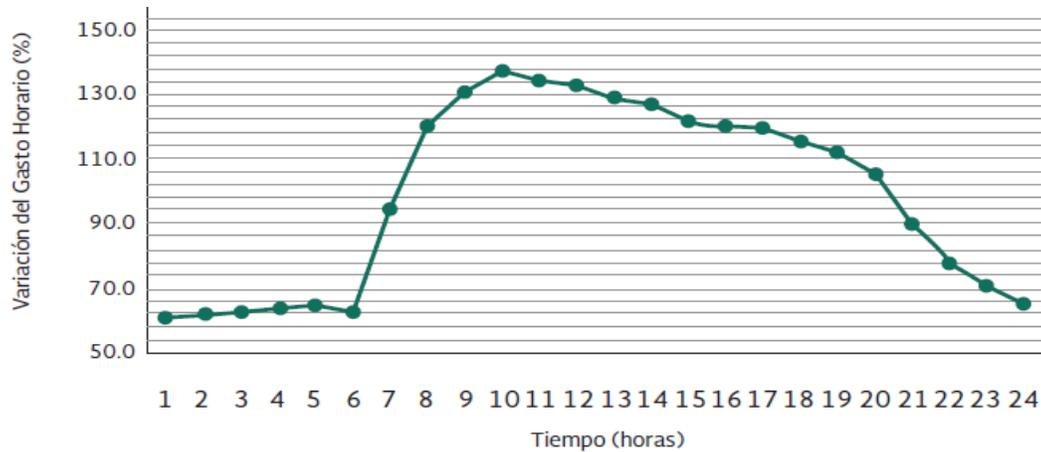


Figura 1.2 Curva horaria de la variación de la demanda para todo México (Tzatchkov et. al, 2016).

En las tomas domiciliarias los consumos domésticos tienden a presentar un carácter estocástico y no permanente, sobre todo en escalas de tiempo del orden de segundos o con un suministro intermitente.

Uno o más miembros de la familia están presentes en la casa a cierta hora y periodos del día en los cuales sus acciones involucran el uso del agua. El resultado esquemático de estas demandas se refleja en celdas rectangulares que pueden o no trasladarse considerando bloques separados aleatorios que secuencian diferentes actividades del hogar.

El modelo de Pulsos Rectangulares de Poisson (PRP) ha sido desarrollado con el fin de simular de forma realista la demanda de agua estocástica (Alcocer, 2007). Este tipo de métodos asume que la demanda es posible representarla a través de pulsos rectangulares (en el plano tiempo-demanda) con duración e intensidad aleatorias, y el surgimiento en el tiempo de los pulsos obedece a un proceso estocástico de Poisson. De esta forma, un grupo de pulsos conformará una serie de consumo que podrá ser incorporada posteriormente dentro de los nodos que conforman la red de distribución.

Un método para estimar los parámetros básicos necesarios para generar las series de consumo, esto a partir de la desagregación temporal de mediciones con intervalo de registro de mayores a un segundo es un tipo de proceso estocástico, es conocido como proceso o esquema de Neyman-Scott. Así se muestra una comparativa de escenarios estocásticos y deterministas (Figura 1.3).

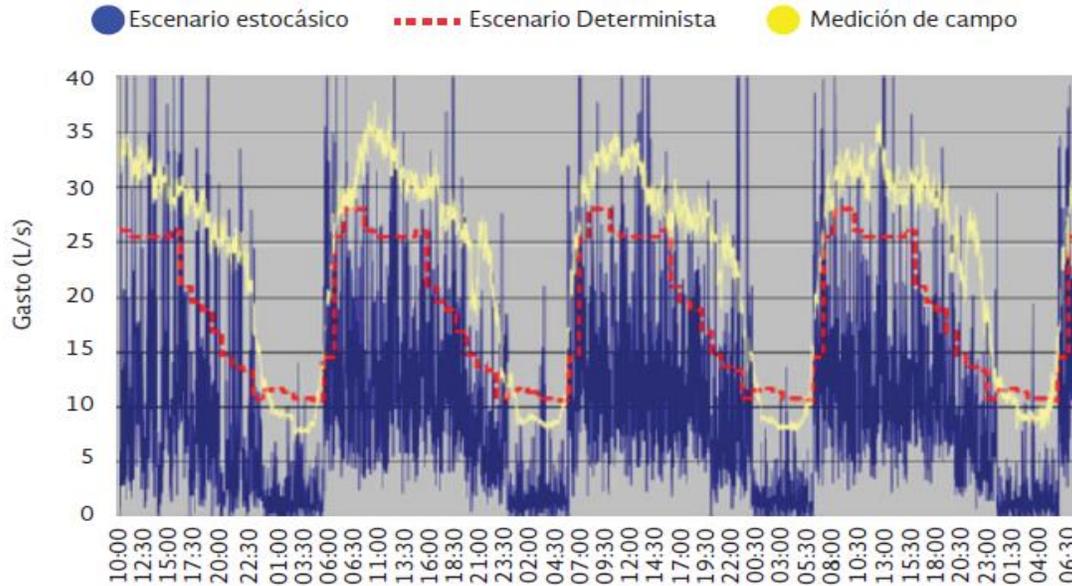


Figura 1.3. Comparación del caudal medio con la CVHD y los modelos estocásticos (Alcocer, 2007).

Para poder generar las series de consumo, estas metodologías requieren de ciertos parámetros como lo son la intensidad, duración y frecuencia de los pulsos; cada uno de ellos representado estadísticamente por su valor medio, varianza y distribución de probabilidad (Alvisi et. al, 2003). La obtención de estos parámetros se basa generalmente en medición directa del consumo instantáneo. Así la técnica final orientada a la estimación indirecta de los parámetros se basa en el establecimiento de una función objetivo (Ec. 13), que expresa la relación entre los momentos (media, varianza y covarianza) observados y los teóricos, para después buscar su minimización mediante diferentes algoritmos (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Parámetros del modelo Newman – Scott (Alvisi et. al, 2003).

Parámetro	Significado
λ	Numero promedio de DB por unidad de tiempo; λ^{-1} representa el promedio de tiempo entre dos llegadas subsecuentes
μ	Numero promedio de EDs por DB
β	β^{-1} representa el promedio de tiempo entre los EDs y el origen de DB
η	η^{-1} representa el promedio de duración de cada ED
ξ	ξ^{-1} representa el promedio de intensidad de cada ED



$$(13) \quad OF(\lambda, \beta, \mu, \eta, \xi) = \sum_{i=1}^N p_i \left(1 - \frac{TM_i}{OM_i}\right)^2$$

OF (Función Objetivo)

TM (Momento Teórico)

OM (Momento Observado)

p_i (peso del momento i)

N (Número total de estadísticos)

1.5.6 Series de tiempo para el pronóstico de la demanda.

En el pronóstico de la demanda de agua a corto y largo plazo, el modelado preciso de la demanda de agua se efectúa mediante el procesamiento de la información real disponible (Melo et. al, 2018). En este sentido, se han aplicado técnicas de extracción de datos y métodos de aprendizaje automático, especialmente, considerando variables climáticas y sociales para ajustar los modelos disponibles. Generalmente, estos métodos requieren una base de datos grande y confiable para garantizar la exactitud de los resultados. Sin embargo, la medición de las variables hidráulicas (por ejemplo, la demanda de agua, la presión) no siempre es posible, lo que dificulta la aplicación de técnicas de extracción de datos.

Hoy en día, los principales métodos para generar series de tiempo sintéticas de demanda de agua toman en cuenta el conocimiento previo del consumo individual de demanda de agua, o estiman estos datos a través de enfoques probabilísticos.

Las metodologías para generar series de tiempo sintéticas se basan en análisis estadísticos y agregación de datos de flujo de entrada de varios distritos. Los métodos clásicos usualmente utilizan la información de las mediciones de los usuarios para generar modelos estadísticos de la demanda de agua y luego asignar la demanda a los nodos por agregación.

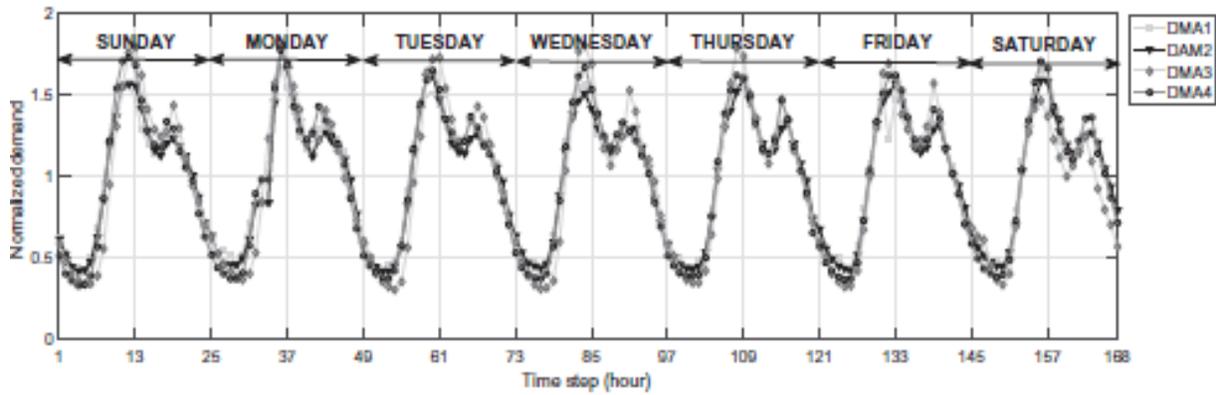


Figura 1.4. Series de tiempo para demanda normalizada por patrones de cuatro distritos (Melo et. al, 2018).

La demanda normalizada ayuda a comparar distritos con precisión siempre que la demanda se encuentre en la misma escala (Figura 1.4). Más aun, la normalización de patrones de demanda es útil en modelos hidráulicos por que provee una interesante vía de representar la variación de la demanda temporal usualmente diaria o semanal. La normalización de la demanda puede ser aplicada usando el valor principal diario (Ec. 14):

$$q_{n,t} = \frac{q_{o,t}}{\bar{q}_{day}} \quad (14)$$

$q_{n,t}$ es la demanda normalizada
 $q_{o,t}$ es la demanda original en el tiempo t
 q_{day} es la demanda principal diaria

Las simulaciones en periodos extendidos de tiempo hacen los modelos hidráulicos más realistas. Así una demanda horaria puede ser escrita como una combinación lineal del valor histórico, el valor semanal y una componente horaria (Ec. 15):

$$Q_{d,t} = \bar{Q}_{ts} + \alpha_d (\bar{Q}_{ts} - \bar{Q}_d) + \alpha_t * \bar{Q}_t \quad (15)$$

$Q_{d,t}$ es el flujo de entrada para el día d y tiempo t
 Q_{ts} es el principal de las series de tiempo
 Q_d es el principal flujo de entrada para la semana d
 Q_t es el valor principal para el tiempo t
 α_d es un parámetro ajustable
 α_t es un parámetro ajustable



Los parámetros α_d y α_t pueden ser remplazados con números aleatorios para modelar condiciones reales, desde que la principal demanda se ve afectada por condiciones horarias y diarias. Así es importante el intervalo para generación de los números aleatorios de los parámetros y tomando en cuenta la distribución normal de la demanda de agua para perspectivas diarias y horarias el rango se ve definido (Ec. 16):

$$\begin{aligned} u_{b(d,t)} &= \bar{Q}_{d,t} + \sigma_{d,t}, & u_b \text{ y } l_b \text{ son las fronteras alta y baja para la generación del} \\ I_{b(d,t)} &= \bar{Q}_{d,t} - \sigma_{d,t}, & \text{número aleatorio} \\ & & Q_{d,t} \text{ y } \sigma_{d,t} \text{ son respectivamente el valor principal y la} \\ (16) & & \text{desviación standard para el día } d \text{ y tiempo } t \end{aligned}$$

El conocimiento desarrollado y analizado del comportamiento de demanda de los usuarios que se tienen actualmente en la teoría existente son en sistemas de suministro continuo, por lo cual la demanda real en suministro intermitente, no tiene antecedentes de estudios. No se tiene definiciones de cuáles son las condiciones mínimas necesarias para la satisfacción de los usuarios con este tipo de suministro, ya que la definición de los bloques de servicio se basa en el conocimiento empírico del operario y de la disponibilidad de volúmenes de agua en la infraestructura de cabeza para trasvase.

1.6 Organización de la tesis.

Para la determinación de un modelo de gestión de una red de distribución cerrada de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda, se desarrolla la investigación de la siguiente manera:

El Capítulo 1 contiene una introducción general de la investigación realizada en este trabajo de tesis doctoral. Se presentan antecedentes que reflejan problemas principales del suministro de agua potable y con ello algunas ideas de mejora, posteriormente se establece la justificación para la realización de este trabajo y los objetivos tanto general como particulares para poder llegar a alcanzar la Hipótesis propuesta, basándose en una Fundamentación teórica y mediante una



metodología a base de conjunción de pequeños trabajos de investigación como son tres artículos de investigación que en conjunto y secuenciales fueron abarcando el proceso de investigación general de esta tesis.

El Capítulo 2 contiene el artículo “Analysis of hybrid demand pattern on a water distribution network with transition from intermittent to continuous water supply in Riberas de Sacramento, Chihuahua”, publicado en el mes de marzo del año 2020 en la revista *Water Practice & Technology*. En este capítulo se cumple el Objetivo particular No 1 y No 2 al realizar actualización de la topología de la red hidráulica existente y obtener el comportamiento hidráulico de la zona en estudio. Además este capítulo contiene el desarrollo de la caracterización del diseño de experimento para la determinación de cantidades mínimas de registros que son necesarias para el análisis del servicio de agua potable existente en la zona de estudio, con esto se cumple el objetivo particular No 3 y No 5. Así también se presenta un análisis de datos históricos de consumo previos a la investigación para la revisión de la transición del suministro intermitente al continuo, así se cumple con el objetivo particular No 4.

El Capítulo 3 contiene el artículo “Study of domestic water consumption in intermittent supply of the Riberas de Sacramento sector in Chihuahua, México”, publicado en el mes de abril del año 2022 en la revista *Water Supply*. Este capítulo presenta un análisis estadístico multivariado de información recopilada de presión y consumo de agua potable en puntos específicos de medición, cumpliendo así objetivos particulares No 8 y No 9. Además se identifican variables más importantes que influyen en el patrón de uso y consumo de agua potable de los usuarios mediante el levantamiento de datos particulares en consultas verbales con usuarios, así se cumple objetivo particular No 11 y su análisis respecto a la satisfacción de demanda en servicio intermitente presente y comparativa con demanda continua futura, cumpliendo así objetivos particulares No 6 y No 7.

El Capítulo 4 contiene el artículo “Drinking water consumption habits during intermittent service in Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, México”, aceptado para publicación en el mes de septiembre del año 2022 en la revista *Water Practice & Technology*. Este capítulo presenta



el análisis de encuestas subjetivas aplicadas a los usuarios objeto de estudio, con las cuales se identifican características físicas, económicas y sociales de la población, así se cumple con objetivo particular No 10. Además se realiza un análisis de conciencia social del valor del servicio de agua potable y el interés de los usuarios por su cuidado, cumpliendo así objetivo particular No 13. Mediante mediciones de consumo y presión de periodo extendido recopiladas en la zona de estudio se obtiene la identificación de patrones de uso de agua potable a lo largo del día, la semana y el mes tomando en cuenta la época del año que son base para la propuesta del modelo de gestión que es el fin último de esta investigación, cumpliendo con esto objetivos particulares No 12 y 14.

El Capítulo 5 contiene la discusión de la tesis, donde se contempla el desarrollo de las etapas del trabajo de investigación en base a la sucesión de cada uno de los tres artículos, que en conjunto abarcan toda la investigación de esta tesis.

Finalmente, el Capítulo 6 contiene las conclusiones de la tesis y líneas futuras de investigación que se ven factibles y necesarias de continuidad del presente trabajo.

Por último, al final del documento se proporciona la relación de referencias de documentos y artículos útiles en el desarrollo de la presente investigación doctoral.

1.7 Metodología.

En esta investigación se enfoca en la determinación de un modelo de gestión para una red hidráulica de un sector determinado, basado en el tipo de flujo, la presión y demanda mediante una serie de análisis de datos de valores de presión y consumo así como percepción del servicio de agua potable a la población en estudio, esto se desarrolla mediante los siguientes procedimientos:

- Para alcanzar un completo entendimiento de la zona de estudio se desarrolló un análisis en base a características físicas, sociales y económicas tanto de la población como de la infraestructura y viviendas dentro del sector que ayudaron a una clasificación más compacta para la posterior determinación de puntos de medición.
- Para obtener la actualización de la topología de la red existente de la zona de estudio se realizó levantamiento físico en el sitio de las instalaciones hidráulicas (válvulas, tuberías,



registros, tanques y bombeos) para digitalización en software computacional Arc Gis y Epanet para su análisis.

- Para caracterización del comportamiento hidráulico de la zona de estudio, se desarrolló un muestreo, definiendo cuanto tiempo de monitoreo, los periodos y las cantidades de datos para la caracterización de situación actual de suministro y consumo de agua potable en el sector.
- Para obtención del modelo de consumo se colocaron registradores de datos con sensores de pulsos y registradores de presión en medidores domiciliarios de puntos estratégicamente seleccionados según la homogeneidad del sector para realizar el análisis estadístico de datos que brindo información de suministro presente para posterior análisis.
- Se realizo una simulación en software de periodo extendido EPANET de los diferentes escenarios representativos de la demanda del sector para su análisis.
- Para caracterización de la demanda se desarrollaron las series de consumo obtenidas con levantamiento de datos de consumo y presión en campo para determinación de las características del sector e identificación de composición de la demanda en usuarios domésticos, comerciales o industriales, así como identificación de instalaciones de almacenamiento en los domicilios dentro de la caracterización.
- Se alcanzo un entendimiento general de la percepción del usuario respecto al servicio suministrado de agua potable por parte del organismo operador mediante encuestas estandarizadas de factores reales tanto de presión suministrada, tiempo de suministro, problemas presentes y atención a quejas.
- Mediante una comparativa de datos de demanda y presión, se definió la mejor opción para la posterior aplicación dentro del modelo de gestión propuesto para el sector analizado que reflejo de mejor manera las características hidráulicas del sector.
- Para obtener un modelo de gestión se propuso en base al análisis y comparativa de datos arrojados de la tipología de la red, el análisis de consumo, la caracterización de la demanda, la condición del suministro, la percepción del servicio por los usuarios y la presencia de



fugas; plasmando la propuesta de correcta operación del sistema para este tipo de sector con sus características definidas.



Capítulo 2: Análisis del patrón de demanda híbrido en una red de distribución de agua con transición de suministro intermitente a continuo en Riberas de Sacramento, Chihuahua.

De acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE 2016), la infraestructura hidráulica de las ciudades está envejecida, la tecnología es obsoleta y los sistemas de gobernanza suelen no estar equipados para: satisfacer la creciente demanda, los retos medioambientales, el continuo proceso de urbanización, la variabilidad climática y los desastres naturales.

Los modelos o esquemas de diseño actuales que se utilizan, se basan en un flujo continuo y no prevén un desalojo o vaciado de las tuberías tras iniciar el llenado para el suministro desde la primera vez; es decir, desde que se inicia el suministro y se llena la tubería por primera vez, el sistema de distribución se queda presurizado (Starczewska et al. 2015). Esta condición no siempre refleja la situación real de muchas comunidades, donde las premisas de diseño de un flujo continuo no son las que realmente se encuentran; por lo que se ocasionan problemas en el sistema de tuberías, ya que con el flujo intermitente se presentan fenómenos transitorios caracterizados, por succiones que generan debilitamiento en la red y fallas, como en la calidad del agua y servicio que se da al usuario final.

Actualmente las redes de distribución de agua pasan de un diseño de construcción con un flujo continuo, el cual sigue el patrón de demanda de una curva de variación diaria/hora (Arreguin et al. 2010), a una operación con un flujo intermitente, en el cual el sistema de red de distribución de agua no se ajusta a los parámetros de diseño y carece de un modelo de gestión definido para brindar un servicio aceptable con buena presión y disponibilidad las 24 horas del día (Tzatchkov et al. 2014).

Los modelos deterministas son aquellos, donde se asume que los datos se conocen con certeza (Tzatchkov et al. 2016). Este modelo está relacionado con una curva de variación diaria/hora, en la que el consumo específico se obtiene mediante un determinado punto de



medición en una red de distribución de agua, en un determinado día de la semana en función de la época del año.

Para simular de forma realista la demanda de patrón estocástico, se ha desarrollado el modelo de Pulsos Rectangulares de Poisson (Alcocer 2007). De esta forma, un conjunto de pulsos formará una serie de consumos, que reflejará instantáneamente los datos reales de consumo de los usuarios y éstos podrán ser posteriormente incorporados a los nodos que componen la red de distribución.

Se ha demostrado que la transición de SIA (suministro intermitente de agua) a SCA (suministro continuo de agua) es factible, si se gestiona y supervisa adecuadamente, puede conducir a una disminución de la cantidad de agua necesaria (Rouse & El Achi 2019).

En este caso, el sector de estudio denominado Riberas de Sacramento, presentó una transición de SIA a SCA de 2017 a 2019, en la cual la institución gubernamental encargada de su operación, decidió implementar un sistema que incrementara las horas de servicio de agua y presurizada la RHD (red hidráulica de distribución de agua).

Durante esta transición, se recopiló los registros de consumo de los usuarios y se presenta un análisis para detectar patrones de consumo, que refleje el cambio de uso del agua de SIA a SCA.

Para definir y caracterizar el PHD (patrón híbrido de demanda), se realizó un diseño experimental para así tener las bases para la definición de un modelo de gestión que defina la operación adecuada de una red de distribución de agua para un sector con base en la demanda y el tipo de suministro disponible para brindar un mejor servicio de agua potable.

Los puntos de muestreo se seleccionaron acorde a la distribución de agua en el sector, incluyendo la demanda, el tipo de suministro disponible, el comportamiento durante una transición de SIA a SCA y las acciones operativas por parte de los técnicos.



Descripción del lugar del estudio.

El sector Riberas de Sacramento (RDS) es una zona habitacional de nivel socioeconómica baja, de acuerdo a la clasificación del INEGI; que tiene las siguientes características:

Nivel socioeconómico D+, Nivel Bajo Típico

- Las familias de este nivel tienen mala calidad de vida. Pasan por problemas para contar con lo básico para vivir, y regularmente pasan por condiciones sanitarias mínimas.
- El jefe de familia tiene un nivel de estudios promedio de secundaria. En el 62% de los hogares en este nivel el jefe de hogar tiene estudios mayores a primaria.
- En este segmento hay más familias con niños y madres solteras. Se trata de familias tradicionales autoritarias y también hay familias sin reglas de convivencia.
- Sus compras están enfocadas al precio.
- Tienen baños muy pequeños
- El principal ingreso viene del trabajo en empresa o fábrica o maquiladora.
- Sus principales gastos son: alimentos, transportación, pago de servicios y cuidado personal.
- En cuanto a la distribución del gasto de estos hogares, es el siguiente:

Solamente el 19% cuenta con conexión a internet fijo en la vivienda.

Un 41% de su gasto se destina a la alimentación.

Un 7% del gasto va a educación.

El sector está ubicado al norte de la ciudad de Chihuahua, México., con una superficie de aproximadamente 110 hectáreas, su altitud promedio es de 1,500 metros, una temperatura media anual de 18.5 °C, su clima es seco-templado y la población incluye 1,500 familias.



Comportamiento del análisis de la RHD durante la transición.

El sector RDS funcionaba con suministro intermitente en el año 2017 y estaba compuesto por tres subsectores principales (Figura 2.1). Tras la implementación de la conversión en un SCA, el RDS se transformó en cuatro subsectores (Figura 2.2), perfectamente definidos debido a las elevaciones, la topología de la red y las demandas de los usuarios.

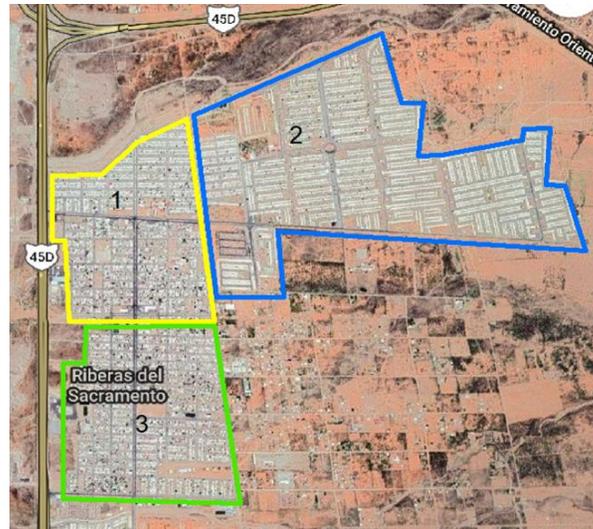


Figura 2.1 | Subsectores 1, 2 y 3 de Riberas de Sacramento SIA 2017 (Mendoza & Navarro 2020).

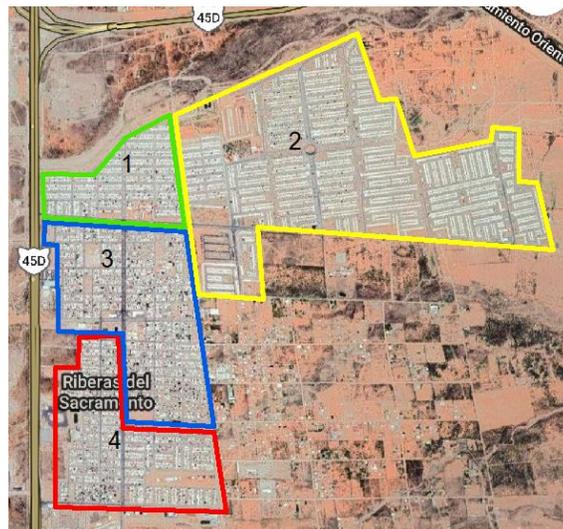


Figura 2.2 | Subsectores 1, 2, 3 y 4 de Riberas de Sacramento SCA 2019 (Mendoza & Navarro 2020).



Comparando los registros del organismo operador (Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS)) sobre fugas en tuberías y falta de servicio de agua, se generó una gráfica general (Figuras 2.3 y 2.4) con valores de los años 2017, 2018 y 2019 para los meses de enero a septiembre. Esto permite un análisis visual de cómo cambiaron estos factores durante la transición de SIA a SCA.

En las figuras 2.3 y 2.4, se muestran los promedios de fugas y falta de agua, de forma mensual y anual, representados por una línea recta correspondiente a cada año. Se identifica que hay meses que superan el valor medio, por ejemplo: febrero, marzo y agosto para 2017 en el caso de la falta de agua, y en el caso de las fugas (enero, febrero, marzo, mayo y agosto) para 2018

Además del análisis de fugas y falta de agua, se presta especial atención a la revisión puntual y necesaria de las VRP (válvulas reguladoras de presión), en la que los técnicos de la JMAS, informan de descensos en la frecuencia de revisión de las VRP por el comportamiento de la red, esto debido a periodos en los que hay una disminución de reportes de fugas y faltas de agua, lo cual significa para ellos como indicador subjetivo de que posiblemente la válvula se encuentre operando bien. Desde que se implantó el SCA, se han aliviado los efectos transitorios como los son el efecto del aire en las tuberías por las aperturas y cierres de válvulas que generaba el SIA.

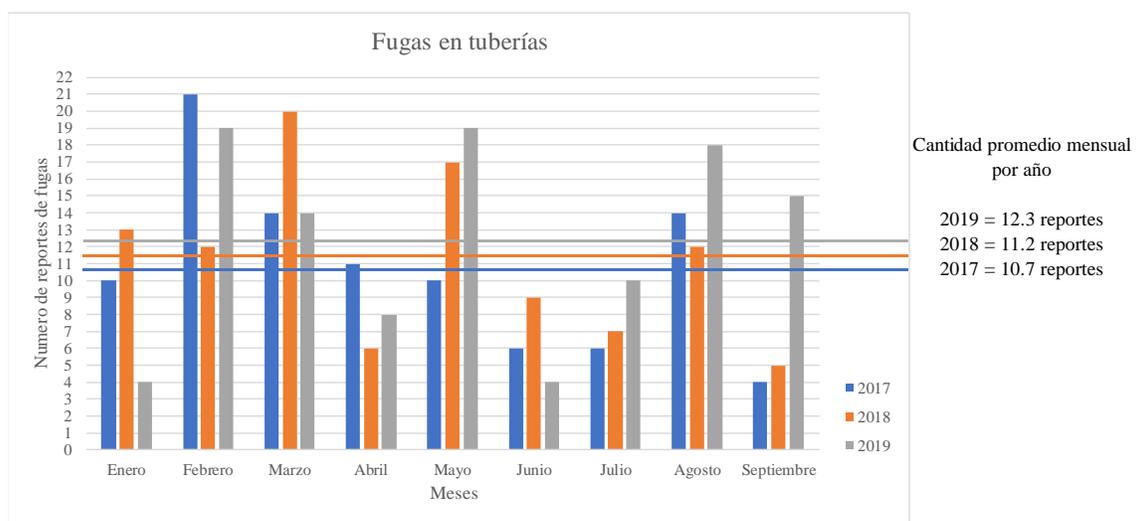


Figura 2.3 | Gráfico de fugas de tuberías RDS(Mendoza & Navarro 2020) .

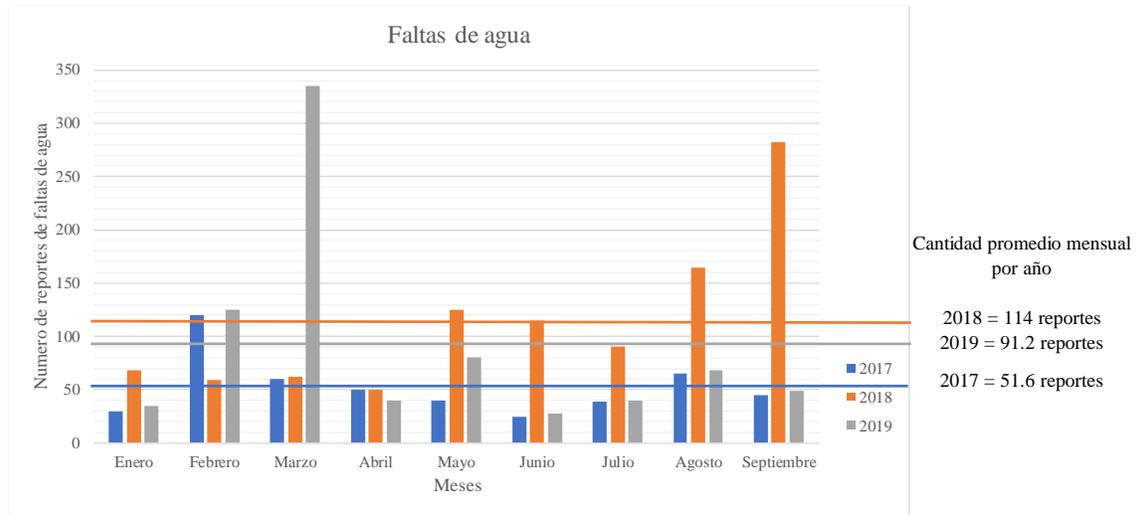


Figura 2.4 | Recuento de faltas de agua de RDS (Mendoza & Navarro 2020).

Comportamiento de la demanda de los usuarios del agua.

La demanda del sector RDS, se analizó con la información de los caudalímetros instalados en los tres subsectores principales. Los datos de caudal medidos en L/s (litros por segundo) de cada subsector se compararon con la media del mes. Para ilustrar dichos resultados, se presentan las gráficas de junio de 2018 y 2019 (Figuras 2.5 y 2.6), en la figura 2.5 se puede observar cómo el caudalímetro comienza a medir a mediados de junio de 2018 y para comparar se elabora grafica del mismo periodo del año 2019, figura 2.6 para apreciar el cambio en el comportamiento que se presenta por el cambio de suministro de intermitente en 2018 a continuo en 2019.

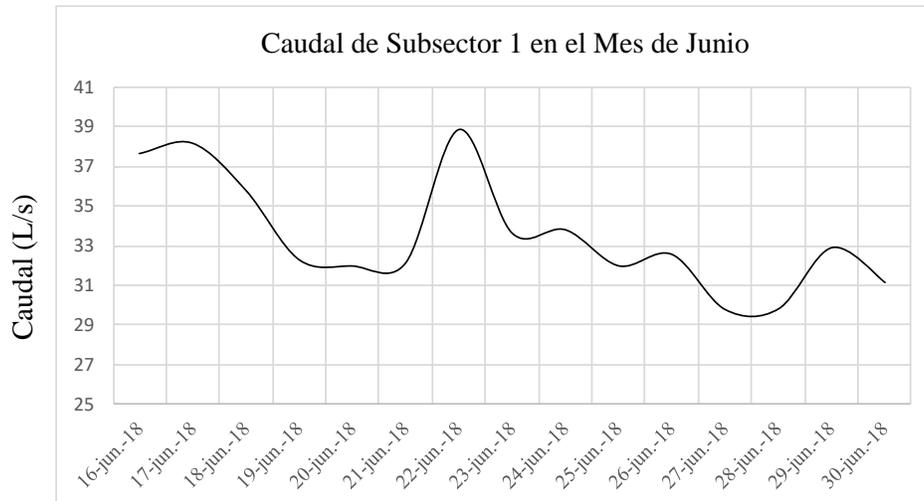


Figura 2.5 | Comportamiento del flujo del Subsector 1 2018 (Mendoza & Navarro 2020).

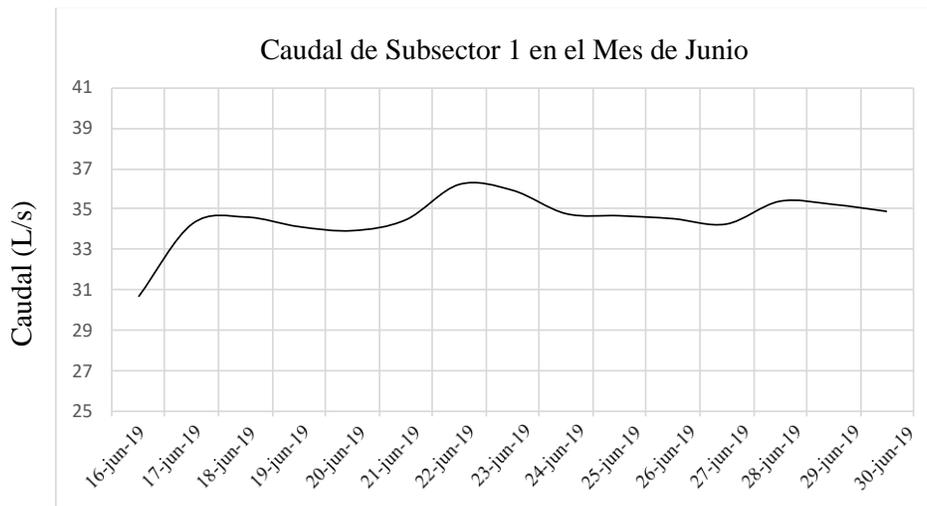


Figura 2.6 | Comportamiento del caudal del Subsector 1 2019(Mendoza & Navarro 2020) .

En la tabla 2.1 se comparan los caudales promedio de cada subsector para 2018 y 2019, en el 2018 representan al SIA y en el 2019 al SCA sin control de presiones ya que el organismo quería detectar las demandas reales de los usuarios al momento de tener un suministro permanente y continuo en la red, como se puede observar hay un aumento de caudal suministrado en 2019, ya que se hicieron visibles las fallas en las tuberías, tomas y medidores, por lo cual ese volumen casi en su totalidad corresponde a volúmenes de agua de fugas; esto es lo que pasa cuando se pasa de forma inmediata de un sector con SIA a SCA.



Tabla 2.1 | Caudal medio de los Subsectores (Mendoza & Navarro 2020).

Subsector	Caudal 2018	Caudal 2019
1	33.53 L/s	33.96 L/s
2	26.09 L/s	35.93 L/s
3	53.02 L/s	63.56 L/s

La Tabla 2.1 muestra el aumento del flujo de agua de los tres subsectores; esto puede representar que en SIA hay una menor cantidad de agua suministrada y en la transición a SCA se suministra una mayor cantidad de agua. Se espera que el flujo de agua suministrada se estabilice y comience a descender con un SCA, pero mientras tanto los datos muestran un aumento general.

Para corroborar lo anterior, se vincula y compara el caudal registrado de suministro con los datos obtenidos de los consumos de los micro medidores, los cuales fueron seleccionados mediante una agrupación de zonas con características homogéneas (proporcionados por la JMAS de los años 2017, 2018 y 2019), la variación de los consumos se observa en la Figura 2.7 y en la Tabla 2.2 para el mes de agosto, mes de mayor consumo según registros históricos del organismo.

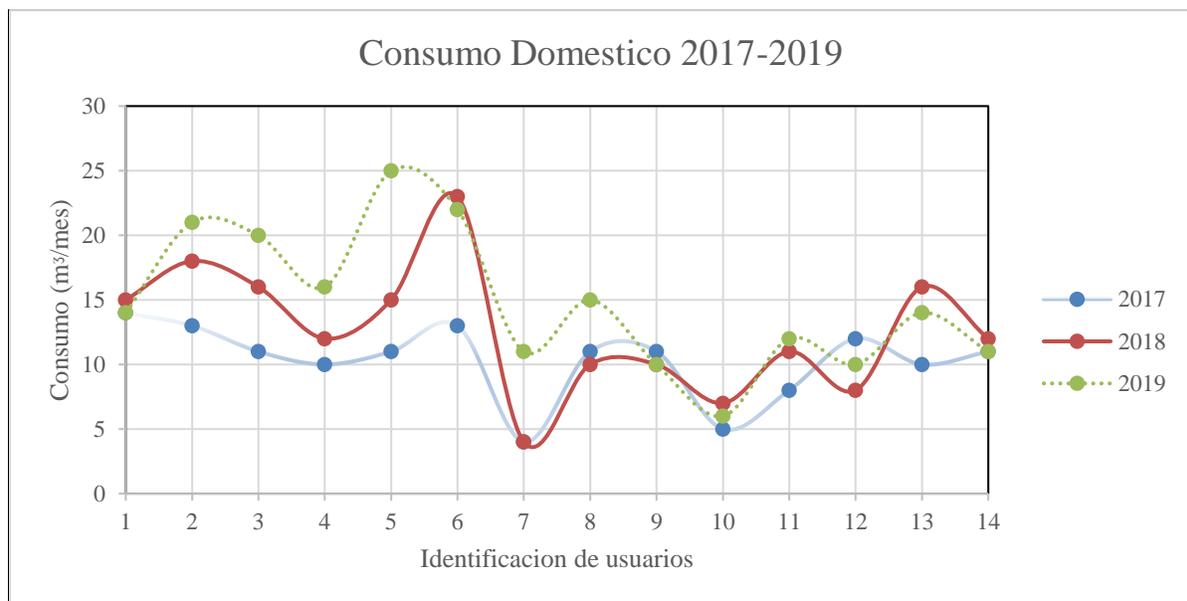


Figura 2.7 | Variación del consumo de agua de varios subsectores (Mendoza & Navarro 2020).



Como se puede observar en los datos con SIA, del 2017 y 2018, los consumos "parecieran" que no tienen un cambio significativo, pues andan en un 2.6 m³ mensuales más de incremento en el 2018 que en el 2017, sin embargo en referencia porcentual son más del 25 %. Aunque existen 5 casos con una variación mayor al 35%, donde solo uno es a la baja y un caso se incrementa en el 2019 en 71%.

En la oscilación de comparación de consumos, de los usuarios en el mes de mayor demanda entre el 2019 y 2018, (2019 se tenga un SCA); en cuanto a valores promedio de m³ por mes, se tuvo un comportamiento similar que la variación del 2017-2018 en 2.3m³ de incremento por mes en el 2019 con respecto al 2018, en forma porcentual del 27% de incremento en promedio, solo en dos casos por encima del 35%. Si el análisis se realiza de los consumos año con año, se puede asumir que es una tendencia al alza de los consumos de forma generalizada, lo que no permite ver la correlación directa entre la operación de la RHD.

En el análisis del periodo se ve que se tiene un incremento global promedio de 5 m³ por mes, que representan el 53% de incremento del consumo, esto es relevante porque los usuarios de este sector no tienen mayor infraestructura y necesidades a los consumos mínimos establecidos en el organismo de 10m³ por mes, que da pauta a corroborar que el incremento se debe a volúmenes de agua fugados, sobre todo en medidor y tomas.



Tabla 2.2 | Consumo de agua en subsectores seleccionados (Mendoza & Navarro 2020).

ID	Subsector	ID usuario	Direccion	Consumo (m3/mes)		
				2019	2018	2017
2	4	1	RIO EBRO 1402	14	15	14
1	4	2	RIO PO 1403	21	18	13
3	4	3	RIO ROJO 2427	20	16	11
5	3	4	RIO COLUMBIA 1400	16	12	10
6	3	5	RIO MURRAY 1401	25	15	11
16	1	6	RIO DIAMANTE 2441	22	23	13
4	4	7	RIO GUADIANA 2400	11	4	4
8	3	8	RIO META 1827	15	10	11
9	2	9	RIO RHIN 2408	10	10	11
10	2	10	RIO UBANGUI 249	6	7	5
11	2	11	CIRDUITO RIO BANAS 24	12	11	8
12	2	12	RIO CHARI 888	10	8	12
13	1	13	RIO HERRERA 1623	14	16	10
14	1	14	RIO FAJARDO 1812	11	12	11

Considerando la variación de consumo y no habiendo elementos en la medición que indicara una correlación con el tipo de suministro, se realizó más a detalle la generación de datos para el análisis y definición del PHD, en un subsector.

La transición de SIA a SCA se convierte en el primer paso para brindar un mejor servicio de agua a los usuarios de RDS. En la ciudad de Chihuahua, la zona RDS es el área piloto para la transformación de SIA a SCA.

Transición de SIA a SCA.

La información recabada de antes y después de la implementación del SCA, muestra en las figuras 2.8 y 2.9, que en el 2018 se concentraba las fugas en la parte de la entrada del sector, se registraron en el mes de agosto 163 reportes, con 8 registros de falta de servicio en la parte sur del sector; para el 2019 la figura 2.9, ilustra que la densidad de las fugas fue menos concentrada y con una dispersión en el sector, esto debido a que la RHD (red hidráulica de distribución) estaba



presurizada 24/7; el incremento de reportes de fuga fue en 30%, con solo 2 registros de faltas de agua.

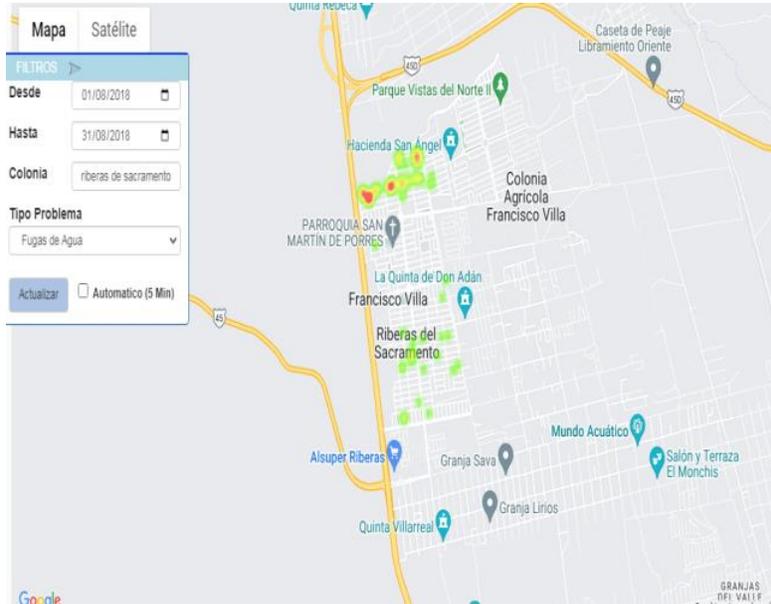


Figura 2.8 | Mapa de calor de reportes de fugas de agua en sector Riberas de Sacramento con suministro intermitente

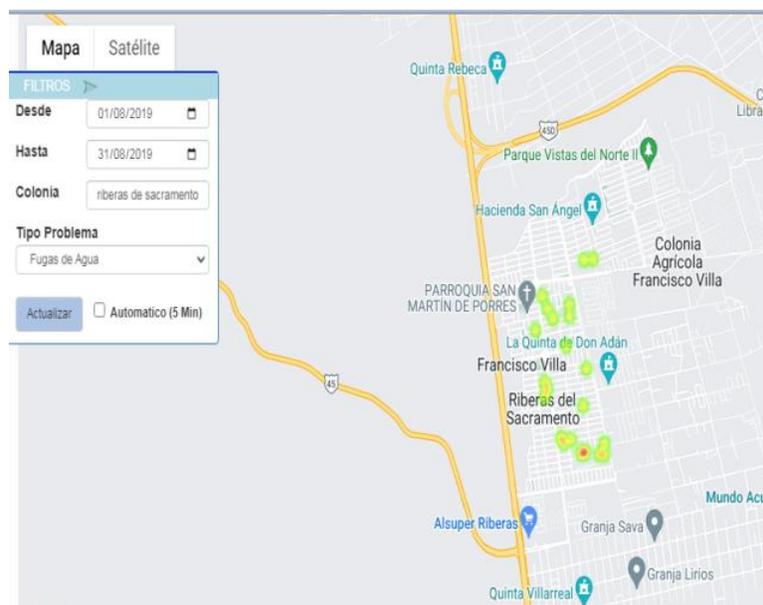


Figura 2.9 | Mapa de calor de reportes de fugas de agua en sector Riberas de Sacramento con suministro continuo



Analizando las Figuras 2.3 y 2.4, se aprecia gráficamente que barras de grafica de reportes de fugas van en aumento conforme se va incorporando el servicio continuo y barras de reportes de faltas de agua van en disminución conforme se va incorporando el suministro continuo al sector. Como consecuencia así de la transición de suministro intermitente a continuo se da alta ocurrencia de fugas en las tuberías y una reducción en las quejas de escasez de agua cuando el suministro de agua se vuelve continuo.

Recopilación de datos del subsector.

Se actualizó la topología de la red existente en el área de estudio, con base en el plano catastral existente de la red y mediante recorridos de campo, (válvulas, tuberías, registros, tanques y bombas), posteriormente se digitalizó en los programas informáticos Arc Gis y Epanet para su posterior análisis (Figura 2.10).

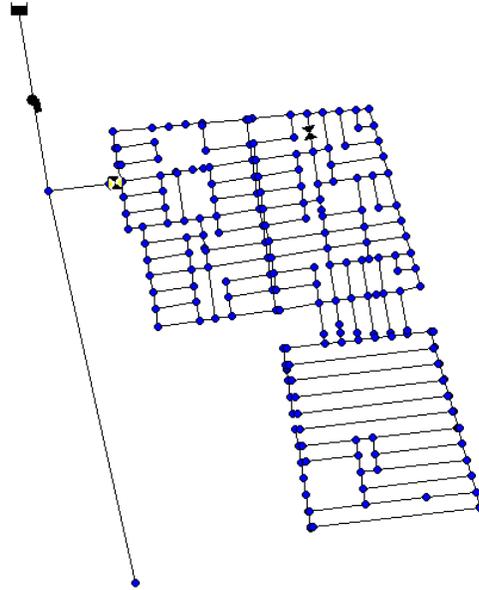


Figura 2.10 | Modelo EPANET del Subsector (Mendoza & Navarro 2020) .

Realizando recorridos de campo apoyados en el catastro existente, se actualizaron las características de diámetro y materiales existentes en la red de agua potable de sector (Figura 2.11).



Figura 2.11 | Características del diámetro y de los materiales existentes en la red de agua potable (Mendoza & Navarro 2020).



Para la obtención de los datos experimentales, se realizó la colocación de data loggers con sensores de pulso, en medidores de caudal en puntos seleccionados de acuerdo a la homogeneidad en las diferentes áreas del sector, en base a características topográficas, sociales, hidráulicas y de consumo.

Diseño de experimentos.

Para caracterizar el comportamiento hidráulico de la zona, además de los datos generados en campo directamente de la distribución del flujo en la red, se tomaron en cuenta los datos de consumo de los usuarios del sector proporcionados por el área comercial de la JMAS de Chihuahua en un periodo de un año.

Estos datos se analizaron y clasificaron en grupos de 0-15 m³ y 16-200 m³, estos rangos obtenidos por ser las categorías en que se asociaban la mayoría de los usuarios (Figura 2.12).



Figura 2.12 | Datos de consumo del subsector de ARCGIS (Mendoza & Navarro 2020).



La clasificación de las áreas homogéneas se realizó mediante una revisión de las áreas topográficas del sector, el nivel de marginación (CONEVAL 2015), la densidad de población y el nivel social (Figura 2.13).



Figura 2.13 | Áreas homogéneas del subsector de ARCGIS (Mendoza & Navarro 2020).

El diseño del experimento, utilizo la técnica de muestreo y aceptación de la Norma Militar (MIL-STD) 105E (Montgomery 2004). La forma de utilizar esta técnica es mediante pasos, enumerados a continuación; que son una secuencia continua de selección de valores en función de las cantidades poblacionales, el Nivel de Calidad de Aceptación (representa la aceptación o rechazo de la muestra si al final de la medida, la muestra cumple o no con el nivel mínimo aceptable) y la precisión de la medida.

Proceso:

1. Elegir Nivel de Calidad de Aceptación (recomendado 1% para defectos importantes y 2,5% para defectos menores).
2. Elegir el nivel de inspección I, II o III (recomendado el nivel I por el menor número de mediciones).



3. Determine el tamaño de la población.
4. Busque la letra de código adecuada para el tamaño de la muestra (A-P).
5. Determine el tipo apropiado de plan de muestreo que debe utilizarse (simple, doble, múltiple).
6. Determinar el plan de inspección a utilizar (normal, riguroso o reducido).
7. Consultar la tabla correspondiente para determinar el tipo de plan que debe utilizarse.

Con un nivel de calidad aceptable del 1%, nivel de inspección I, inspección reducida y aceptación cero (Tabla 2.3) para obtener las cantidades mínimas de muestreo que representen al sector (Tabla 2.4).

Tabla 2.3 | Letras de código para tamaño de muestra en inspección reducida (MIL STD 105E)

(Mendoza & Navarro 2020) .

Rango de Población	Niveles de inspección general			Código de Letra	Tamaño de muestra
	I	II	III		
2-8	A	A	B	A	2
9-15	A	B	C	B	2
16-25	B	C	D	C	2
26-50	C	D	E	D	3
51-90	C	E	F	E	5
91-150	D	F	G	F	8
151-280	E	G	H	G	13
281-500	F	H	J	H	20
501-1200	G	J	K	J	32
1201-3200	H	K	L	K	50
3201-10000	J	L	M	L	80
10001-35000	K	M	N	M	125
35001-150000	L	N	P	N	200
150001-500000	M	P	Q	P	315
500001>	N	Q	R		



Tabla 2.4 | Cantidades de muestreo obtenidas (Mendoza & Navarro 2020).

Sector	Clasificación	Tamaño de población	Nivel de inspección	Tamaño de muestra
1	(0-15m ³ /mes)	456	F	8
1	(16-200m ³ /mes)	28	C	2
2	(0-15m ³ /mes)	502	G	13
2	(16-200m ³ /mes)	38	C	2
3	(0-15m ³ /mes)	1339	G	13
3	(16-200m ³ /mes)	178	D	3
4	(0-15m ³ /mes)	680	G	13
4	(16-200m ³ /mes)	98	D	3

Se obtuvieron tamaños mínimos de muestra (Tabla 2.4), posteriormente se procedió con la elección de los instrumentos de registros de las variables requeridas como son: caudalímetros domiciliarios (medidor inteligente remoto con lectura fotoeléctrica directa), registradores para la lectura de datos de presión y el equipamiento de entrada al sector, con medición de presión y caudal suministrados.

Este artículo, inicia el diseño de una metodología para caracterizar el PHD en una red en transición de un suministro de agua intermitente a uno continuo.



Capítulo 3: Estudio del consumo doméstico de agua en el abastecimiento intermitente del sector Riberas de Sacramento en Chihuahua, México.

El entendimiento sobre el consumo de un sector, ayuda a conocer los hábitos de los usuarios y a establecer la mejor manera de suministrar agua potable a sus hogares. En algunas zonas de México, el servicio de suministro de agua sigue un esquema de entrega continua, las 24 horas del día, los 7 días de la semana. En otras zonas, es programado para ciertas horas del día por la empresa de agua encargada y catalogado como "suministro intermitente" (Andey & Kelkar 2009).

Algunos países o ciudades con clima árido y semiárido, optan por el suministro intermitente (SIA) para gestionar el consumo y distribuir el agua a sus pobladores, suponen que eso preserva el escaso recurso hídrico disponible. Muchas ciudades, que se enfrenta a una explosión en el crecimiento demográfico recurren al suministro intermitente para resolver el desequilibrio entre oferta y demanda. Sin embargo, estas medidas drásticas generalmente fracasan, pues no es una solución permanente e indefinida, ya que no contemplan los efectos negativos del suministro intermitente en las redes de tuberías y las consiguientes pérdidas de agua (Christodoulou & Agathokleous 2012). En un suministro intermitente, el agua que disponen los usuarios, depende de su capacidad económica para almacenar pero también dependen de la magnitud y tiempo de permanencia de la presión en la red.

En la mayoría de los casos, la asignación del tandeo, se define por la disponibilidad del recurso en los tanques de almacenamientos y de forma subjetiva por el operario, sin embargo muchas veces el tandeo determinado no siempre corresponde en un horario de servicio para el usuario; definiendo como horario de servicio, cuando el agua está presente en la red y puede ser utilizada por el usuario en sus instalaciones de forma adecuada y suficiente; esto involucra que la magnitud y tiempo de permanencia presión acorde a las características del domicilio (si es de uno o más pisos). En el suministro intermitente tradicional, el tiempo de tránsito en las tuberías es



reducido, por lo que el operador puede verse obligado a aumentar la presión para impulsar el caudal y aprovechar las pocas horas de suministro.

En el capítulo 2, con los datos generados no se pudo establecer, si había diferencia en la demanda o consumo del usuario por el tipo de suministro; para el objetivo de este trabajo es importante acotar el consumo de agua mínimo suficiente en ambos tipo de suministro, dado que en el suministro intermitente, actualmente el almacenamiento depende de las capacidades económicas del usuario, es decir no está topado en un máximo almacenamiento, solo en el mínimo requerido, lo anterior impacta en la demanda que se puede realizar y los cambios de consumos.

Las características de consumo ayudan a mejorar la gestión y el funcionamiento, incluida la satisfacción de la demanda de los usuarios en función de sus actividades. Además, la empresa de agua encargada podrá determinar balances como herramienta para la recuperación de caudales (Serrano et al. 2018). Actualmente no existe un estudio que analice el consumo de agua potable en modalidad de abastecimiento intermitente. Este es el caso de México y, en consecuencia, también del estado de Chihuahua. En la literatura existen esfuerzos aislados, a nivel experimental de corta duración y están enfocados básicamente al suministro continuo (Alcocer et al. 2012).

La definición de flujo estacionario y no estacionario es clave para la investigación. Esto se consigue observando detenidamente el intervalo de tiempo de permanencia, la presión y el tipo de flujo en la red. Las redes de agua se han diseñado, a lo largo de la historia, asumiendo un flujo estacionario que mantiene constante la presión y las características del flujo (Bon 2017). Generalmente, el caudal en las redes de suministro continuo no es permanente debido a las variaciones de la demanda. Tampoco lo es el caudal en las redes de abastecimiento intermitentes; el llenado de las tuberías y la evacuación del aire en su interior provocan cambios tanto de presión como de velocidad. Tras la evacuación del aire y el llenado de la red, se aplican normas de modelación (Nagarajan et al. 2003) para medir el caudal permanente: agua en fase líquida sin mezcla de gases (aire). Pocos estudios de campo presentan pruebas del proceso, que depende de "cómo" transita y se distribuye el flujo de agua en la red, mediante el registro de la velocidad y la presión (Nelson & Erickson 2017).



En esta parte de la investigación, se utiliza un medidor de agua doméstica que genera mediciones de manera autónoma lo que evita el error humano, además genera un pulso cuando detecta flujo de agua en la tubería de conexión de servicio y crea un valor numérico que es enviado y procesado para cuantificar el volumen y sea reconocido por cualquier sistema receptor actual o futuro.

El consumo doméstico de agua en los sistemas de suministro intermitente (SIA) se ha calculado utilizando encuestas, observaciones estructuradas, inventarios de almacenamiento, datos medidos (limitados) y caudalímetros (Guragai et al. 2018). La metodología utilizada vincula la medición objetiva de los equipos con la percepción del usuario y del operador.

En este capítulo que fue publicado, se analiza el consumo de agua potable de los usuarios domésticos a los cuales se les instalaron medidores de agua domésticos inteligentes en una zona con suministro intermitente, con la finalidad de establecer una relación de consumo con los datos recogidos en las encuestas, como el número de baños, el tamaño de la vivienda y el número de inquilinos. A partir de la información obtenida, se puede realizar la transición al suministro continuo.

Descripción de sitio.

El Estado de Chihuahua es una de las 32 entidades federativas del territorio mexicano. Cuenta con una población de 3,741,869 habitantes, el 3.0% de la población del país (INEGI 2019). El Municipio de Chihuahua se localiza a latitud norte 28° 38', longitud oeste 106° 04', altitud 1,455 msnm (metros sobre el nivel del mar). Tiene una superficie de 9219 km² (3.4% de la superficie total del estado). La ciudad de Chihuahua es la capital del estado (IMPLAN 2017). La colonia Riberas de Sacramento es un desarrollo habitacional conformado por 1,500 familias. Se localiza al norte de la ciudad de Chihuahua (Figura 3.1) y tiene una extensión aproximada de 1.1 km² con una altitud promedio de 1,500 m.s.n.m. Tiene un clima seco-templado anual de 18.5°C.

Riberas de Sacramento es una zona de alta prioridad para el gobierno de Chihuahua por sus bajos niveles de escolaridad y estructura social. La mayoría de los miembros de la comunidad



son jóvenes y tienen largos horarios de trabajo en la industria maquiladora. Se tiene elevados consumos en los registros del organismo operador, lo cual hace asumir que no coinciden con las características del desarrollo habitacional, que “debieran” ser menor consumo, es por ello que se seleccionó esta zona.

Puntos de estudio representativos.

En el capítulo previo, se examinó el consumo general de los usuarios en el sector de Riberas de Sacramento (Mendoza & Navarro 2020); donde se identificó elementos importantes relacionados con el consumo, como la topografía, la topología de la red existente, la capacidad económica de los usuarios y el tipo de suministro existente. Esto dio como base, la clasificación del sector en zonas con características técnicas y sociales homogéneas, así como la determinación de puntos de medición del consumo de usuarios representativos de cada una de las zonas del sector en función del tamaño de la población. Lo que permitió determinar un tamaño de muestra basado en el nivel de inspección del muestreo MIL-STD 105E (Montgomery 2004), donde la muestra varía según su población total por niveles (Tabla 3.1).



Tabla 3.1 | Cantidades de muestra obtenidas (Mendoza, Navarro 2020)

Sector	Clasificación	Tamaño de población	Nivel de inspección	Tamaño de muestra
1	(0-15m ³ /mes)	456	F	8
1	(16-200m ³ /mes)	28	C	2
2	(0-15m ³ /mes)	502	G	13
2	(16-200m ³ /mes)	38	C	2
3	(0-15m ³ /mes)	1339	G	13
3	(16-200m ³ /mes)	178	D	3
4	(0-15m ³ /mes)	680	G	13
4	(16-200m ³ /mes)	98	D	3

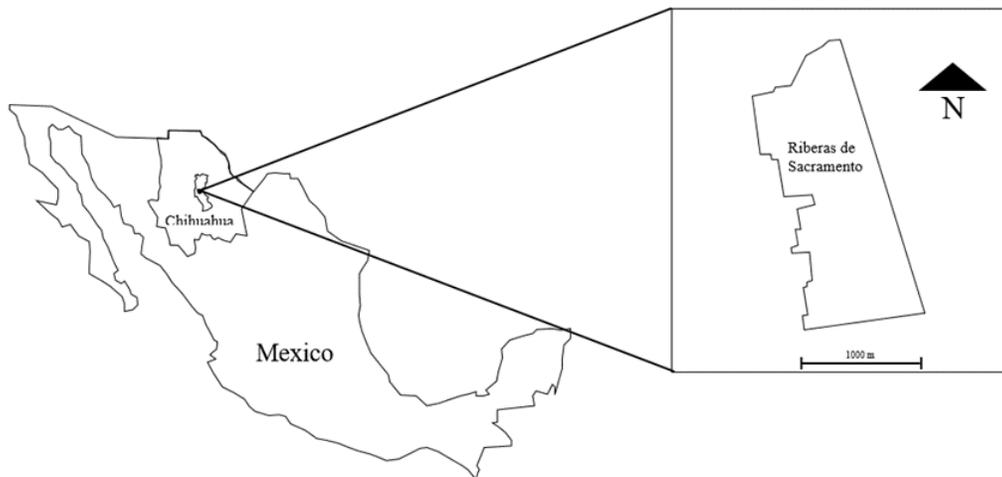


Figura 3.1 | Área de estudio: Riberas de Sacramento (Mendoza & Navarro 2022) .



Recopilación y muestreo de datos.

Para la interpretación estadística sobre uno o varios parámetros característicos de los habitantes, se debe considerar que el tamaño de la muestra tenga una representatividad poblacional del sector analizado y extraer conclusiones basadas en los valores resultantes del número de muestras analizadas (Devore 2008). El método de análisis se realizó mediante la técnica de muestreo Military Standard 105E (MIL-STD-105E) (Montgomery 2004). Este procedimiento tiene una potencia estadística del 80%, de acuerdo con las características relevadas y analizadas en el sector, por lo que el tamaño de muestra definida es representativo de la población del sector.

Para identificar las principales características orientadoras del patrón de consumo del sector, se realizó una encuesta entre los diferentes usuarios estudiados (Figura 3.2), al mismo tiempo que se leían los datos de presión y caudal. La encuesta fue desarrollada para esta investigación, basándose en encuestas estandarizadas utilizadas por las autoridades para conocer y evaluar la percepción del usuario respecto al servicio y las tarifas (Dorantes 2016).

En la siguiente figura se muestra la caratula de la encuesta realizada al usuario en el sector.



Prueba piloto de análisis del consumo de agua potable

Datos de registro

Fecha

Dirección

Hora

Información de medidor

Numero de serie

Lectura inicial

Lectura final

Información del usuario

Numero de baños en la casa

Numero de personas en vivienda

Numero de niveles de vivienda

Tipo de usuario

Figura 3.2 | Encuesta sobre las características de los usuarios (Mendoza & Navarro 2022).

En los puntos de medición definidos en el muestreo se instalaron medidores de flujo Contazara CZ4000 (CONTAZARA 2022) y registradores de presión Multilog 2 (HWM 2022) para obtener información sobre el consumo de agua de cada usuario por semana, y su relación con el suministro de agua potable existente en el sector. De acuerdo al tamaño muestral definido en el diseño experimental estratificado, se realizó la instalación de la medición y la encuesta de manera sincronizada. El medidor de agua potable Contazara CZ4000 (Figura 3.3) y el registrador de presión Multilog son instrumentos inteligentes que detectan caudales máximos y mínimos, rangos



de operación y picos automáticos de consumo, mediante pulsos cada 30 segundos y registros estadísticos cada 15 minutos.

La medición del consumo duró 3 meses, de abril a junio de 2020 tanto para los consumos doméstico en 55 hogares del sector, como en la presión para la distribución del servicio; para lo cual se clasificó el sector en 5 zonas, donde se instalaron registradores para su caracterización (Mendoza & Navarro 2020). Los parámetros determinados para el estudio son: fecha, dirección, ID del medidor, número de baños, número de inquilinos, número de plantas, categoría del cliente (doméstico o comercial), marca del medidor, consumo y presión.

Se tomó la lectura registrada en los medidores de los caudales acumulados por semana en cada uno de los 55 domicilios. Con los datos rebabados se realizó un análisis multivariante utilizando el software Minitab (Minitab 2022). El Minitab permite realizar varios análisis estadísticos y correlaciones entre parámetros; de los cuales se eligió el análisis multivariante, por ser una herramienta que considera una evaluación objetiva de la relación entre las variables, considerando que cada variable es independiente, así que establece la relación entre variables y factores de forma numérica o visual, permitiendo identificar las variables más importantes y las relaciones predominantes en el problema analizado.

Análisis de datos.

Los modelos de redes de distribución de agua son ampliamente utilizados por las compañías de aguas. Las demandas de los consumidores son una de las principales incertidumbres de estos modelos, siendo complicado lograr una calibración por no contar con suficientes datos en campo (representación real). Sin embargo, existen propuestas o supuestos para utilizar sobre el comportamiento de la demanda individual (usuario) y con ello calibrar si se dispone de información de base (Sanza & Pérez 2014).

A partir de los datos obtenidos en un análisis estratigráfico previo donde se determinaron puntos específicos de medición, se propone cálculo de la demanda de agua mínima necesaria para suministrar a un sector en L/seg a partir de la relación entre el consumo medio obtenido de



mediciones semanales en domicilios representativos y la tipología de población, que se refiere básicamente a la obtención de la cantidad promedio de personas en domicilio, con lo cual se puede calcular actualmente la cantidad de suministro necesario de agua en el sector para la totalidad de personas estimadas.

Los medidores Contazara CZ4000 registraron valores acumulados, que oscilaban entre 0 m³ y 8,84 m³ de consumo por semana. En los domicilios monitoreados, se pudo establecer la hora de mayor consumo y determinar el caudal que pasaba por el medidor. En la figura 3.3 se ilustra la instalación de los medidores en los domicilios seleccionados.



Figura 3.3 | Instalación del medidor Contazara CZ4000(Mendoza & Navarro 2022) .

El consumo se clasificó por grupos, volumen de consumo acumulado y consumo individual, con el fin de visibilizar la heterogeneidad de los datos y su independencia con respecto a la similitud de funcionamiento del medidor. Esto permitió establecer el suministro real de agua existente en el sitio y llevó a un cálculo de pronóstico futuro para hacer una predicción de la demanda en Riberas de Sacramento, Chihuahua.

El análisis de los datos mediante la técnica multivariante, refleja la relación entre las variables: presión, caudal, topografía, tiempo y características del usuario, así como la formulación de un modelo estadístico para diferenciar los efectos de los factores (Wong et al. 2010).



Es necesario prestar atención a los métodos de previsión probabilística, con la finalidad que las empresas de suministro de agua, tomen decisiones que reflejen el nivel de incertidumbre de las previsiones de la demanda futura. Una previsión fiable de la demanda de agua urbana facilita la toma de decisiones operativas, tácticas y estratégicas fundamentales para un suministro eficaz de agua potable (Donkor et al. 2014).

Consumidores y hogares: características y consumo.

La figura 3.4, muestra los datos sobre la clasificación de las características particulares de cada usuario de la red y los factores más importantes que inciden en el patrón de consumo de los usuarios en el sector. En el a) se resume la condición que tienen todos los usuarios del sector seleccionado, en cuanto a si tienen o no medidor, el 40% de los usuarios no tienen medidor en el sector.

En cuanto a la clasificación por tipo de usuario, el inciso b) muestra que el 91% en el sector son doméstico, el resto comerciales, no habiendo industrial y de servicios. El resultado del número, que en promedio de personas viven en cada vivienda, se muestra en el inciso c) es de tres, oscilando entre un mínimo de una y un máximo de seis personas. El inciso d) indica que el 95% de las casas son de una sola planta, esto es importante porque da la pauta para la definición de satisfacción de la presión en magnitud y tiempo.

Un elemento importante en la infraestructura domestica para el uso, consumo y cuidado del agua, es la cantidad de baños con que cuenta, en el inciso e) se indica que en el sector que el 94% de las viviendas cuentan con un baño. Por último, en el inciso f) el consumo registrado por semana ronda la media de 3 m^3 , con máximos de 9 m^3 y mínimos de 1 m^3 . Considerando la media de consumo registrado en el 27% de las viviendas, y acorde al inciso c) se puede inferir que cada persona consume 1000 litros por semana, es decir aproximadamente 143 litros al día; lo que concuerda, con las estimaciones internacionales, en la cantidad suficiente para la satisfacción de la demanda recomendada por la ONU el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día), segura, aceptable y asequible (ONU, 2023).

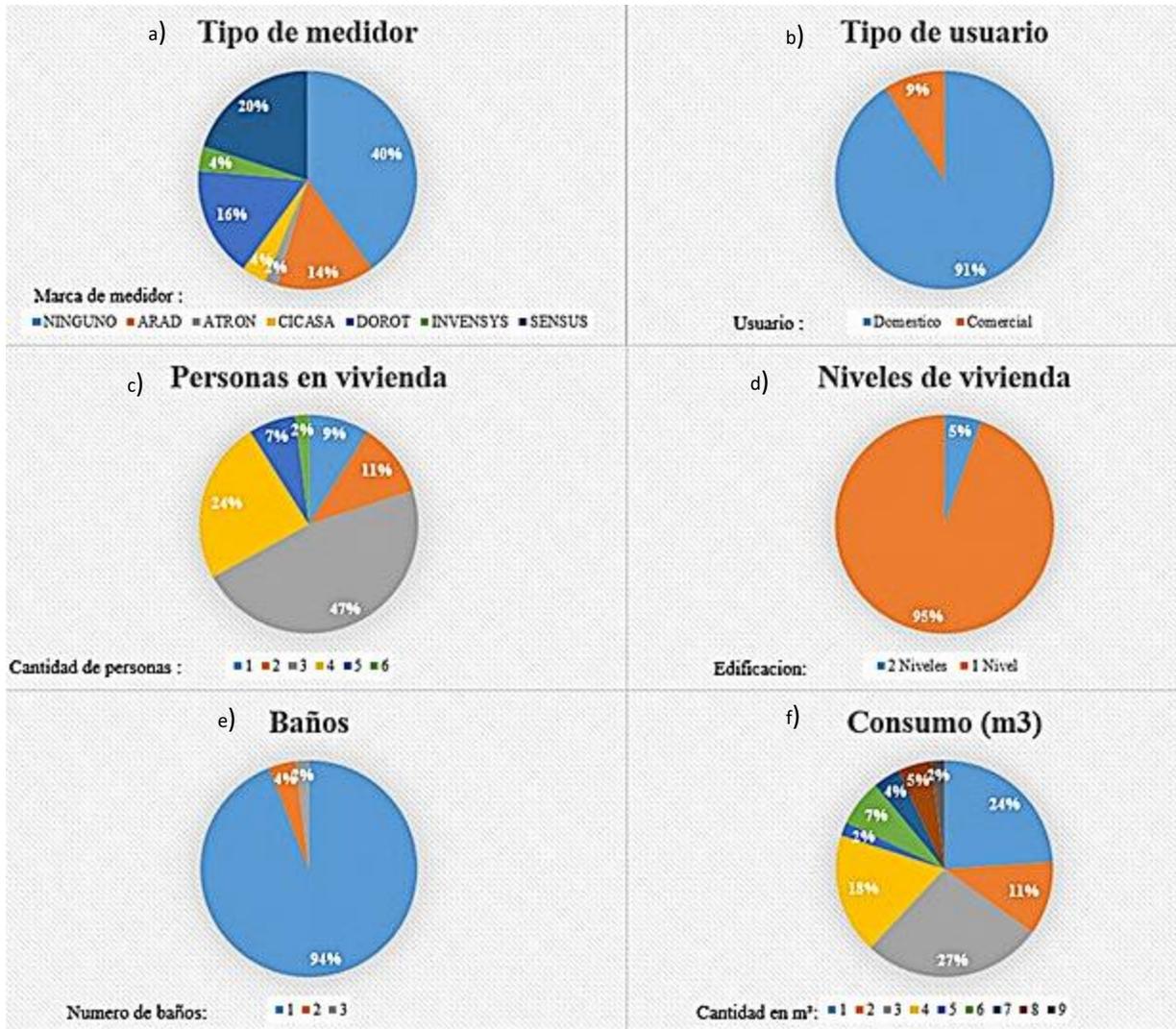


Figura 3.4 | Resumen de los factores que influyen en el consumo de agua en Riberas de Sacramento (Mendoza & Navarro 2022).

En las viviendas encuestadas se encontraron las marcas de medidores c: Arad, Sensus, Dorot, Invensys y Cicasa. Cabe recalcar que la mayoría de los usuarios encuestados no disponía de medidor, sino que se conectaba a la red con una manguera o alimentador. Los datos totales de las encuestas realizadas figuran en la tabla 3.2.



Tabla 3.2 | Datos de medición de Riberas de Sacramento (Mendoza & Navarro 2022).

Fecha	Dirección	ID	L. Inicial	L. Final	Baños	Personas	Niveles	Uso	Marca	Consumo(m3/semana)
May 13, 2020	C. Río Volga #23928	P18VA426876	26.84782	35.695	1	4	1	Domestic	Arad	9
April 8, 2020	C. Río Missouri #23124	P18VA426864	7.41216	15.80156	3	5	2	Commercial	Arad	8
April 22, 2020	C. Río de la Plata #23910	P18VA426842	33.0887	40.896	1	3	1	Domestic	None	8
April 22, 2020	C. Río Mosela # 2222	P18VA426864	19.49136	27.0193	1	4	1	Domestic	None	8
April 1, 2020	C. Río Columbia #1840	P18VA426876	10.89898	17.90348	1	2	1	Commercial	None	7
April 8, 2020	C. Río Amur #2202	P18VA426876	17.90348	24.44186	1	4	1	Domestic	None	7
April 8, 2020	C. Río Elba #1415	P18VA426852	11.46338	17.8234	1	3	1	Domestic	Invensys	6
April 1, 2020	C. Río Rhin #2416	P18VA426842	22.87054	28.92836	1	4	1	Domestic	Dorot	6
April 22, 2020	C. Río Lorenzo #23324	P18VA426876	27.27098	32.89292	1	3	1	Domestic	None	6
April 1, 2020	C. Río Madeira #1841	P18VA426852	5.88214	11.46338	2	4	2	Domestic	None	6
June 3, 2020	C. Río Meta #1818	P18VA426849	45.00964	50.3927	1	5	1	Domestic	Sensus	5
June 3, 2020	C. Río Marañón #1409	P18VA426864	35.67138	40.15034	1	3	1	Domestic	Dorot	4
May 6, 2020	C. Río Missouri #23522	P18VA426849	35.695	39.9546	1	3	1	Domestic	Arad	4
April 29, 2020	C. Río Obi #2034	P18VA426852	22.3848	26.391	1	3	1	Domestic	None	4
April 15, 2020	C. Río Negro #2220	P18VA426849	26.57582	30.5554	1	4	1	Domestic	Cícase	4
May 6, 2020	C. Río Amur #1626	P18VA426842	42.1728	46.0518	1	4	1	Domestic	Invensys	4
April 15, 2020	C. Río Tigris #2434	P18VA426864	15.80156	19.49136	1	4	1	Domestic	None	4
April 1, 2020	C. Río Mississippi #2203	P18VA426849	19.44754	23.0997	1	3	2	Domestic	Sensus	4
May 27, 2020	C. Río Missouri #23114	P18VA426852	27.7685	31.38972	1	3	1	Domestic	Dorot	4
May 20, 2020	C. Río Obi #1608	P18VA426849	40.897	44.48428	1	3	1	Domestic	None	4
May 20, 2020	C. Río Indo #1408	P18VA426876	26.84782	30.39876	2	4	1	Domestic	Sensus	4
April 8, 2020	C. Río Lena #2222	P18VA426849	23.0997	26.57582	1	3	1	Domestic	Arad	3
April 22, 2020	C. Río Parana #2400	P18VA426852	19.08756	22.3848	1	1	1	Domestic	None	3
June 10, 2020	C. Río Rojo #1841	P18VA426852	32.11138	35.33296	1	3	1	Domestic	None	3
May 13, 2020	C. Río Murray #1600	P18VA426842	46.0518	49.237	1	1	1	Domestic	Sensus	3
June 10, 2020	C. Río Cauca #1800	P18VA426842	53.17556	56.29048	1	4	1	Domestic	Sensus	3
June 10, 2020	C. Río Cauca #1600	P18VA426864	40.15034	43.1789	1	3	1	Domestic	Arad	3
May 27, 2020	C. Río Ventuari #23106	P18VA426842	49.33734	52.30882	1	5	1	Domestic	Arad	3
April 29, 2020	C. Río Rhin #2213	P18VA426849	32.776	35.695	1	3	1	Domestic	None	3
April 1, 2020	C. Río Arno #1405	P18VA426864	7.41216	10.31966	1	2	1	Domestic	None	3
May 27, 2020	C. Río Yojoa #23103	P18VA426864	32.8125	35.67138	1	3	1	Domestic	None	3



Tabla 3.2 | Continuación.

Fecha	Dirección	ID	L. Inicial	L. Final	Baños	Personas	Niveles	Uso	Marca	Consumo(m3/semana)
April 15, 2020	C. Río Zambeze #23718	P18VA426876	24.44186	27.27098	1	3	1	Domestic	Sensus	3
June 3, 2020	C. Río Marañon #1800	P18VA426876	31.16744	33.9712	1	3	1	Domestic	Sensus	3
April 15, 2020	C. Río Obi #2219	P18VA426842	30.5082	33.0887	1	4	1	Domestic	Sensus	3
May 6, 2020	C. Río Pardo #2003	P18VA426852	26.391	28.96428	1	3	1	Commercial	None	3
June 10, 2020	C. Río San Fco #22500	P18VA426876	33.9712	36.52192	1	3	1	Domestic	None	3
May 20, 2020	C. Río Yojoa #23108	P18VA426864	30.3384	32.8125	1	2	1	Domestic	Dorot	2
April 22, 2020	C. Río Amur #2040	P18VA426849	30.5554	32.776	1	2	1	Domestic	None	2
May 13, 2020	C. Río Ventuari #23532	P18VA426852	26.7912	28.96428	1	1	1	Domestic	Sensus	2
May 6, 2020	C. Río Mayo #1810	P18VA426864	27.643	29.8004	1	3	1	Domestic	Arad	2
April 29, 2020	C. Río Congo #2008	P18VA426876	32.89292	34.669	1	6	1	Domestic	None	2
April 8, 2020	C. Río Obi #1800	P18VA426842	28.92836	30.5082	1	3	1	Domestic	None	2
April 29, 2020	C. Río Mayo #2037	P18VA426842	40.896	42.1728	1	4	1	Domestic	None	1
April 15, 2020	C. Río Yang Tse Kiang #2420	P18VA426852	17.8234	19.08756	1	3	1	Domestic	Cicasa	1
May 20, 2020	C. Río Beni #1614	P18VA426852	26.7912	27.7685	1	5	1	Domestic	Dorot	1
May 13, 2020	C. Río Murray #1626	P18VA426849	39.9546	40.897	1	1	1	Commercial	Sensus	1
June 3, 2020	C. Río Arauca #1801	P18VA426842	52.30882	53.17556	1	4	1	Domestic	Sensus	1
May 27, 2020	C. Río Mosa #23104	P18VA426876	30.39876	31.16744	1	3	1	Domestic	Dorot	1
May 6, 2020	C. Río Obi #1838	P18VA426876	34.669	35.4366	1	2	1	Commercial	Atron	1
June 3, 2020	C. Río Meta #1437	P18VA426852	31.38972	32.11138	1	3	1	Domestic	Dorot	1
April 29, 2020	C. Río Missouri #23322	P18VA426864	27.0193	27.643	1	1	1	Domestic	None	1
May 13, 2020	C. Río Congo #2207	P18VA426864	29.8004	30.3384	1	3	1	Domestic	Arad	1
May 27, 2020	C. Río Columbia #1432	P18VA426849	44.48428	45.00964	1	2	1	Domestic	Dorot	1
May 20, 2020	C. Río Niger #1410	P18VA426842	49.237	49.33734	1	3	1	Domestic	Dorot	1
June 10, 2020	C. Río Rojo #1403	P18VA426849	50.3927	50.39284	1	3	1	Domestic	None	1
Mean					1	3	1	Domestic	None	3
Max					3	6	2	Domestic	None	9
Min					1	1	1	Commercial	Atron	1

Los gráficos comparativos del caudal de consumo máximo (Figura 3.5) y de la tasa horaria de mayor consumo (Figura 3.6) se obtuvieron directamente del software Contazara, que proporciona esta ventaja de análisis instantáneo a través de su algoritmo basado en los datos recogidos. En ambos gráficos, el consumo representa la cantidad total de agua contabilizada en m^3 durante el tiempo en que estuvieron colocados los medidores de agua inteligentes, la clasificación de rangos se presenta en el otro eje (caudal y horario).

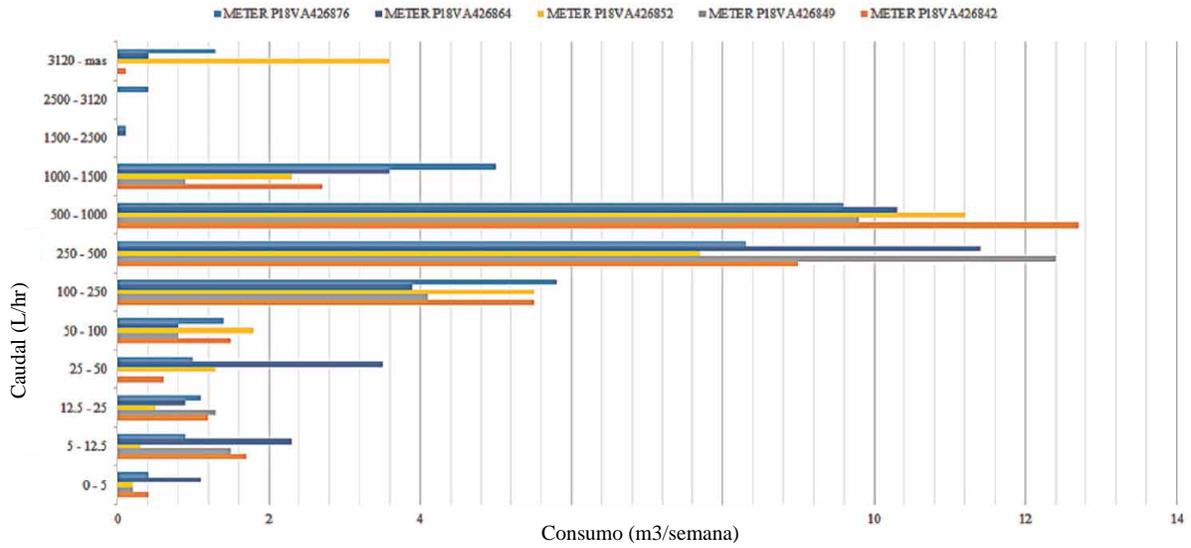


Figura 3.5 | Flujo de consumo máximo en Riberas de Sacramento (Mendoza & Navarro 2022).

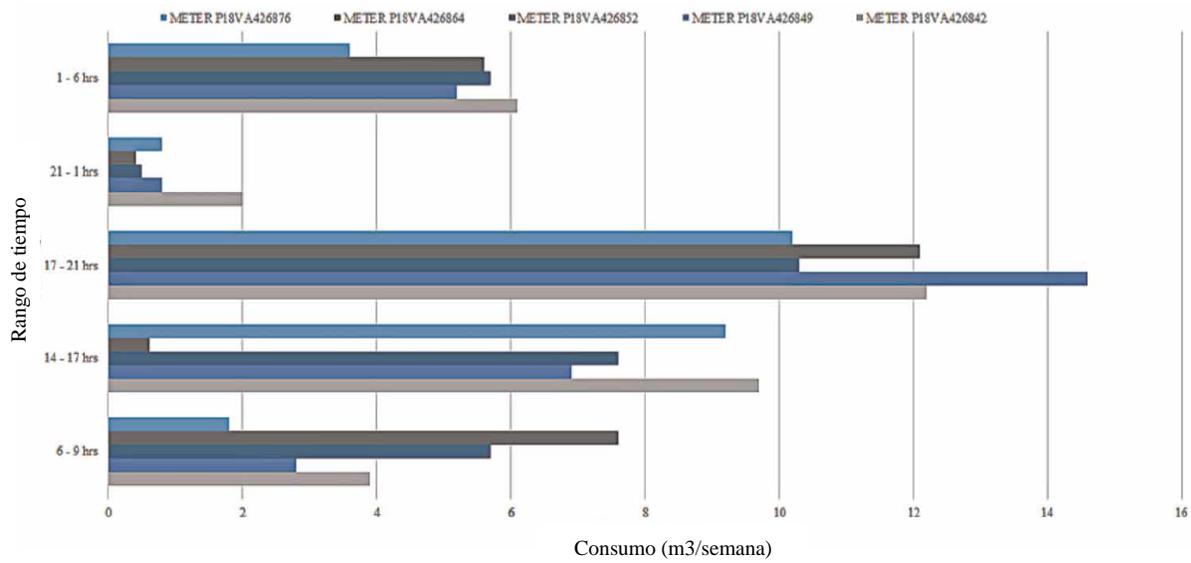


Figura 3.6 | Rango horario de mayor consumo (Mendoza & Navarro 2022).



Este análisis muestra la condición de intermitencia del suministro en el sector, se establece directamente la relación del consumo (llenado de almacenamientos domésticos) con las horas de apertura del suministro, que fueron de 4:00 a 8:00 y de 16:00 a 20:00 horas. El aumento del consumo se refleja en los elevados caudales, en su mayoría de 500 a 1.000 litros/hora, por efecto del rellenado de los contenedores en los domicilios, al inicio del horario de servicio. Esto coincide cuando se abren las válvulas de suministro en horario de mañana y tarde, por lo que se asume y se relaciona con el almacenamiento de agua que realizan los usuarios.

Comparando estos dos gráficos (Figuras 3.5 y 3.6), se corrobora que el suministro de agua es intermitente; hasta que se alcanza la saturación de la red, el suministro es semi continuo y va permeando en el sector. Se refiere a semi continuo, a que la válvula está abierta pero no se ve reflejado el flujo en todos los usuarios de forma equitativa. A medida que se llenan los almacenamientos domésticos se refleja en una estabilización del consumo y por ende el impacto en la presión (Arreguin et al. 2010).

La clasificación del consumo en orden ascendente oscila entre 0 m^3 y $8,84 \text{ m}^3$ por semana (Figura 3.7); en ella se observa que el 20% de los usuarios presentan un déficit acorde al consumo o demanda establecido por día, que es el 1 m^3 (correspondientes al almacenamiento del tinaco), mientras que el restante 80% tienen mayor cantidad de agua registrada para uso en labores del hogar gracias a su mayor disponibilidad por características del sector.

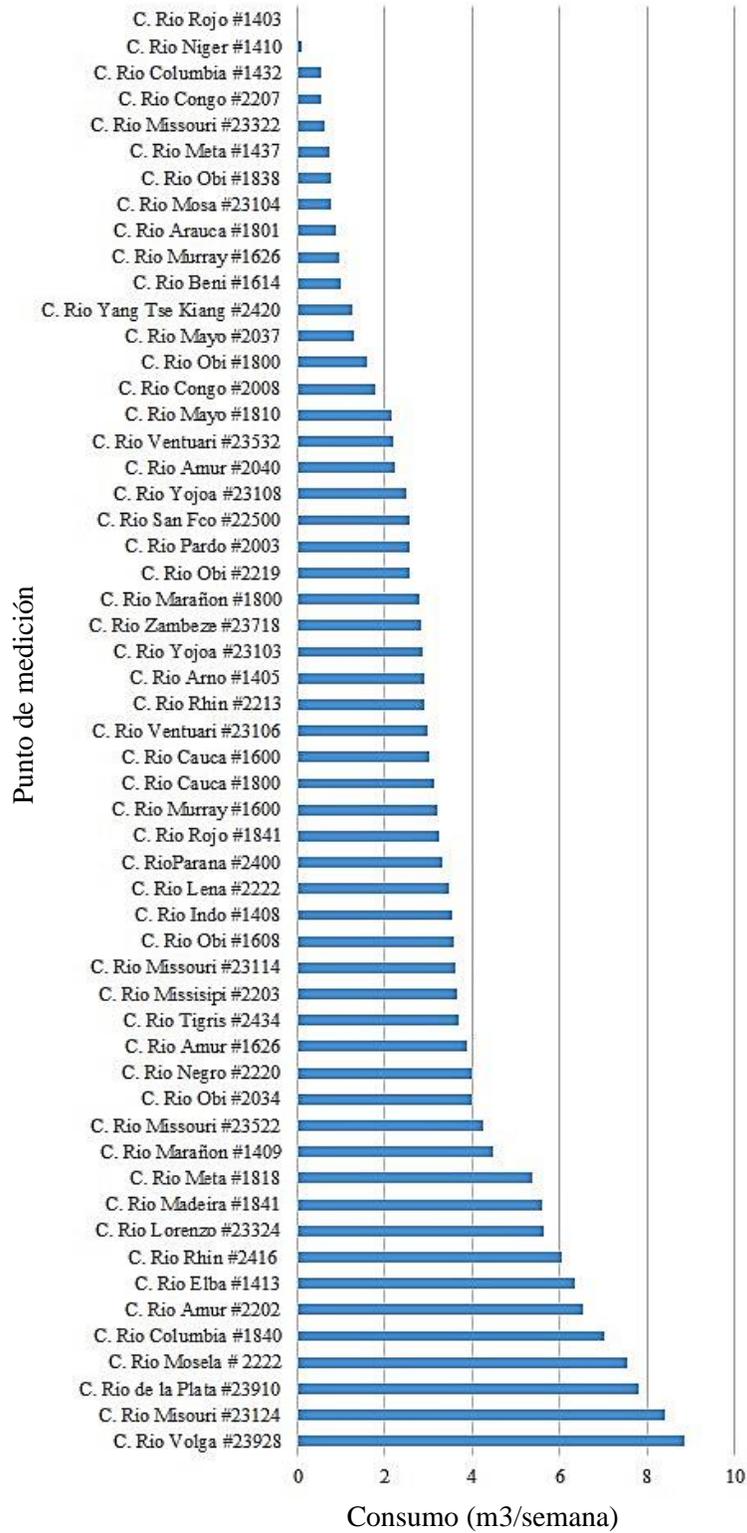


Figura 3.7 | Clasificación del consumo en orden ascendente (Mendoza & Navarro 2022).



Además de los gráficos del caudal acumulados por semana de los medidores, en la figura 3.8 se compara las lecturas de los diferentes medidores utilizados para el muestreo.

Las series de tiempo representan las campañas de medición (Pau et al. 2013), determinadas por características homogéneas dentro del sector; se realizaron 5 grupos de campañas dentro del sector, correspondientes cada una a una serie de tiempo; 4 de ellas tiene una tendencia similar, donde los puntos de medición (domicilios) más cercanos a la entrada del suministro o bien por donde se inicia la saturación de la red, en esa parte del sistema presentan mayores consumos, y los puntos que se encuentran en la parte al final del flujo dentro de la red, tienen menores consumos. Sin embargo la serie de tiempo que representa la campaña P18VA426876, presenta una variación significativa debido a que se encuentra en la parte de transición entre la parte alta y con menor pendiente del sector; considerando que los puntos de medición con mayor consumo que difieren se ubican en las partes topográficas más bajas.

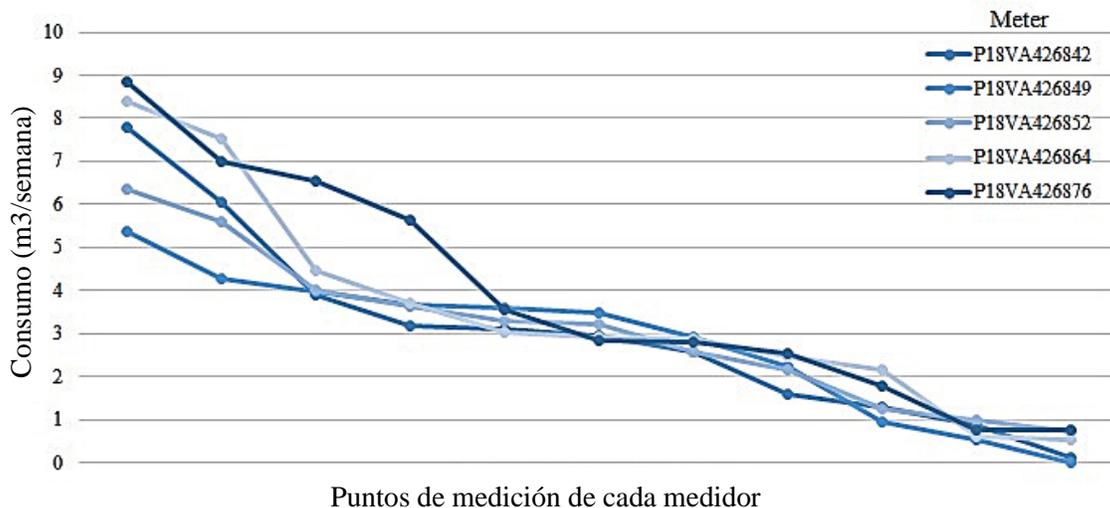


Figura 3.8 | Comparación de las lecturas de los medidores (Mendoza & Navarro 2022).

En este capítulo se ha hecho hincapié el desarrollo y generación de datos teniendo un suministro intermitente de agua potable en el sector; en cuanto al comportamiento de la presión, se muestra en la Figura 3.9, el cual es consistente con la información de la dependencia gubernamental que controla la operación de la infraestructura hidráulica y establece un horario de



servicio vigente de 4:00 a 8:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas. También se observa el rango de presiones en el sector, que van desde los 10 mca (metro columna de agua) hasta los 21 mca, las 5 series de tiempo que se refieren al comportamiento de la presión, son representativas de los 5 grupos de campañas dentro del sector, se visibilizan las diferencias de comportamiento entre las 5 zonas o grupos en las magnitudes de presión que tienen durante los horarios de servicio. Los puntos representativos de: Tigris, Murray y Amo son los que tienen mayores magnitudes de presión durante el horario de servicio, equivalentes a la tara de consigna de la válvula por donde se alimenta al sector; en el caso de los dos primero “subsectores” la presión permanece aún después del cierre de la válvula, es decir que permanece el fluido en la tubería, y el vaciado no es total llegando a tener valores de 300 gr, lo cual pudiera ser suficiente en condiciones de suministro continuo, para evitar el diferimiento que se da en la saturación de la red en los subsectores representados por los puntos en Misisipi y Amarillo. El retraso que se da en estos puntos con suministro intermitente llega ser hasta de una hora, sobre todo en el horario de servicio vespertino.

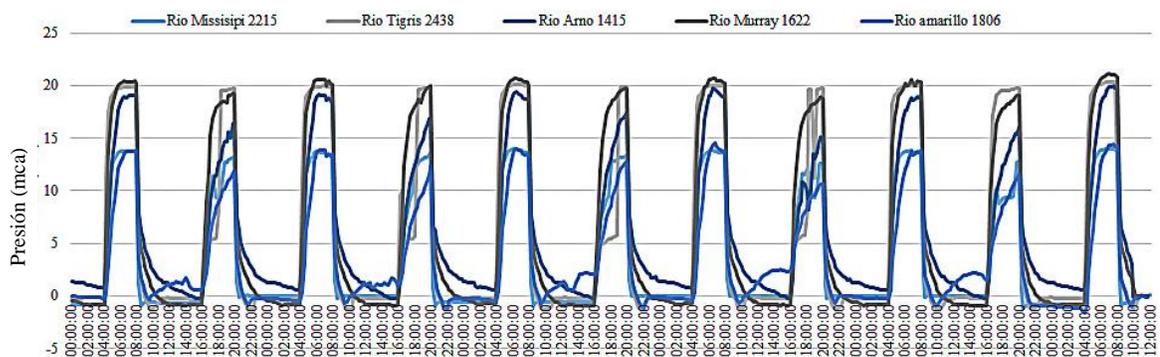


Figura 3.9 | Comparación de presiones por puntos representativos de zonas (Mendoza & Navarro 2022).



Análisis multivariado del consumo.

Un método importante en esta investigación para la ponderación de variables fue la asignación numérica a cada una de las variables que se encuestaban (fecha, identificación de medidor, marca de medidor, número de pisos de la vivienda, número de baños en la vivienda, número de personas en la vivienda y uso doméstico o comercial) y recopilación de información física existente (presión y consumo). Con esto se pudo formar una base de datos fácil de analizar en el programa Minitab de estadística descriptiva para poder identificar cuales eran las variables que más peso tenían en la determinación del patrón de demanda de agua de los usuarios.

Mediante la agrupación de clases en el programa Minitab, se obtuvo el diagrama de cajas (Figura 3.10) que muestra la dispersión de la cantidad de domicilios que se agrupan en cada categoría de consumo semanal. Siendo la clase de 8 a 10 m³, la que tiene menor dispersión y las clases de a 4 a 6 y de 6 a 8 m³, las de mayor dispersión.

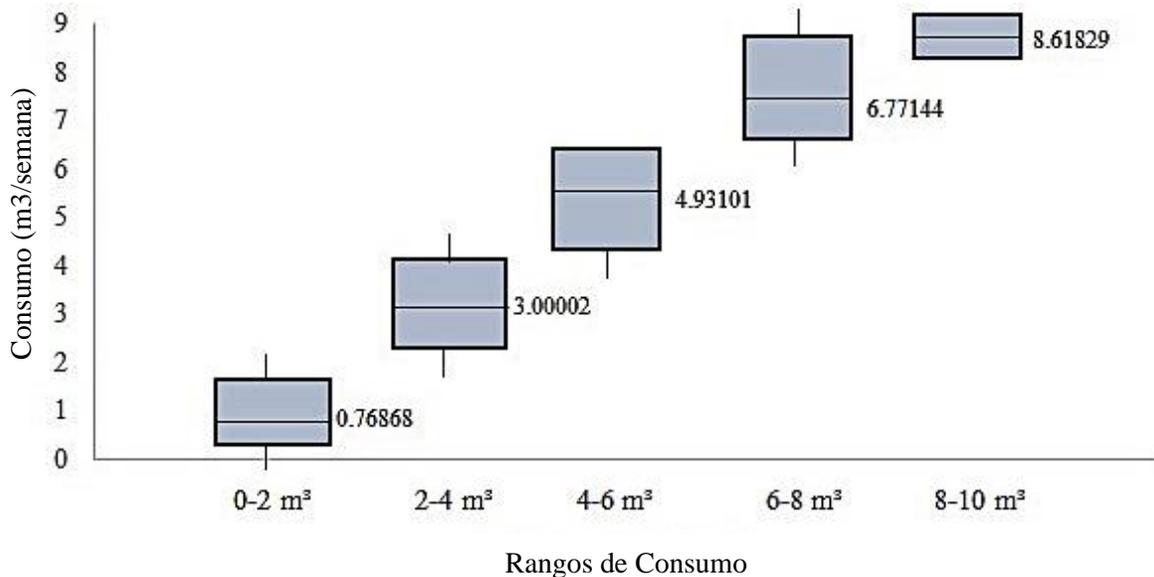


Figura 3.10 | Diagrama de cajas para los rangos de consumo (Mendoza & Navarro 2022).



El análisis de componentes principales es un método, que evalúa cada variable de forma independiente, definiendo las asociaciones con otras variables y su impacto en términos de la magnitud del vector propio (Bartholomew 2010). Con el análisis multivariante de los componentes principales, se busca entablar relaciones y pesos de importancia de manera objetiva del comportamiento de las variables, para ello los gráficos de sedimentación (Figura 3.11) considera 9 factores o variables que son: Fecha, número de Personas en la vivienda, niveles de la casa (uno o dos pisos), número de baños en la vivienda, ID o ubicación, marca del medidor, uso o clasificación de contrato (domestico/comercial), rangos de consumo por semana (m^3) y magnitud de presión.

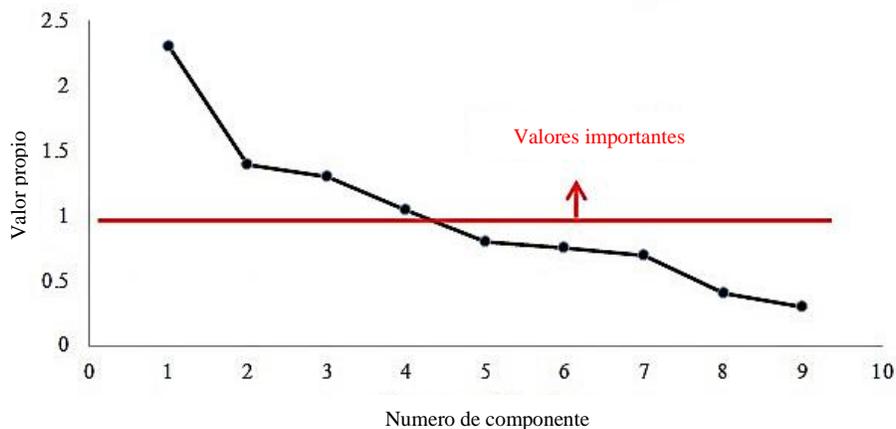


Figura 3.11 | Análisis multivariante de sedimentación (Mendoza & Navarro 2022).

El gráfico de sedimentación muestra que son cuatro variables más importantes y una de ellas con mayor peso; esto se determina con la magnitud que tiene cada una de las variables en su autovalor del vector que representan. Dado que la gráfica de sedimentación no establece sus agrupaciones y relaciones, solo los pesos de importancia dentro del análisis que se realiza; se procede a ser el análisis por componentes principales (ACP), de forma visual se muestra en los resultados en la figura 3.12.

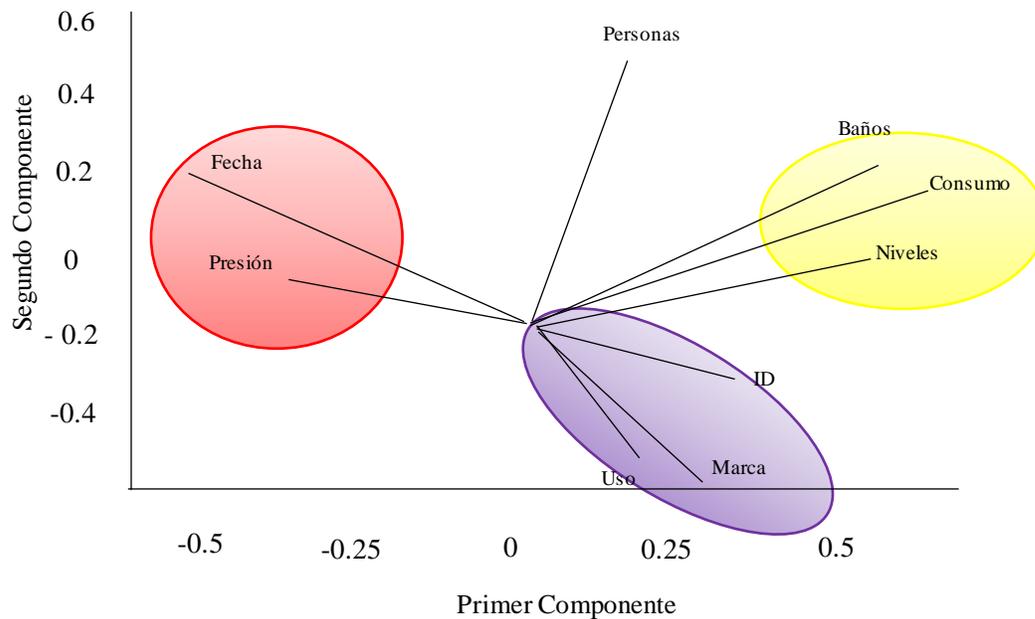


Figura 3.12 Componentes del Análisis Multivariante (Mendoza & Navarro 2022).

En el gráfico de componentes (Figura 3.12), se destacan la agrupación de factores que se relacionan entre sí, esto por el ángulo y la posición entre vectores; también se puede visualizar la importancia de los factores con la magnitud o tamaño de los vectores que representan el comportamiento de las variables; en cuanto al sentido esto nos muestra si los vectores inciden entre ellos de forma positiva o no, o si están ortogonales entre factores demuestran que son independientes.

Se puede apreciar que aglutinan en tres conjuntos, el primero conformado por la fecha y la presión; el segundo por número de baños, consumo y niveles en la vivienda; el tercero por ID, marca de medidor y uso; consideración aparte tiene el factor del número de personas que habitan en la vivienda, ya que este factor no se agrupa de forma visible pero en la figura 3.13, se ilustra con flechas azules la independencia que tiene este factor con los conjuntos uno y tres; así como la relación con el conjunto 2 ilustrado con el ángulo de la flecha roja.

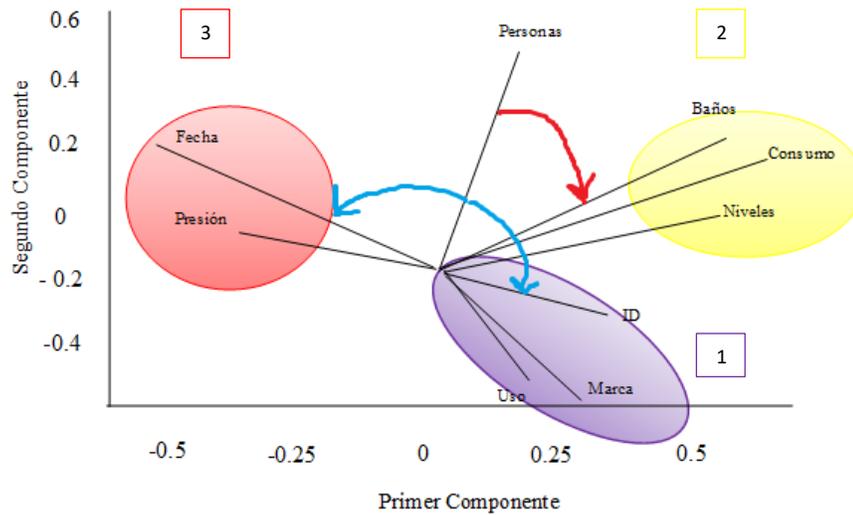


Figura 3.13 Análisis de Componentes Principales.

El conjunto donde se ubica la presión y la fecha, aparecen en el lado negativo del gráfico, lo que significa que la relación con el conjunto dos, se manifiesta a la inversa. Se establece una relación entre las variables de estos conjuntos, ya que la climatología genera un comportamiento de mayor o menor presión sobre el consumo de agua.

Hay tres subconjuntos de análisis que no parecen influir notablemente en los resultados (ID de medidor, marca y tipo de medidor), pero que deben tenerse en cuenta por su línea de tendencia. En cambio el número de baños, el consumo y los niveles en la vivienda son componentes estrechamente relacionados y sus valores reflejan una elevada correspondencia.

Los factores se agrupan de acuerdo a magnitud por orden decreciente son: A) consumo, fecha y personas, B) baños y niveles, C) presión y marca y ya sin relevancia por su tamaño D) ID y uso. Esto permite determinar que los factores más importantes en determinar un patrón de consumo son: la cantidad de agua que consumen las viviendas por semana, la temporalidad o estacionalidad del año y la cantidad de personas que habitan en el domicilio. Para determinar una operatividad acorde se deben considerar los factores agrupados en magnitud en B y C.



La presión está relacionada con la ubicación, aunque en sentido inverso, es decir que la presión es menor si la ubicación del domicilio es más alta y viceversa. En cambio estos dos factores no se relacionan o son independientes del número de personas que habitan la vivienda.

El análisis de valor y vector propio se utiliza para evaluar, cómo difieren las medias de respuesta de los distintos subconjuntos entre los niveles de los diferentes términos o factores del modelo estadístico o fenómeno que se está analizando.

El auto vector, cuyos coeficientes o magnitud corresponden a valores propios mayores al 40% (0.4) de forma positiva o negativa (Tabla 3.3), establecen los factores y las relaciones de los componentes más importantes, los cuales resultan ser: Fecha, baños, y consumos.

Tabla 3.3 | Valores de los componentes del coeficiente (Mendoza & Navarro 2022).

Variable	PC 1
Fecha	-0.417
ID	0.182
Baños	0.441
Personas	0.184
Niveles	0.357
Uso	0.264
Marca	0.279
Consumo	0.457
Presión	-0.286

Estimación de la dotación futura de agua.

Además de las características de los usuarios, se recopiló información sobre el consumo individual por semana, con el propósito de estimar la dotación real requerida de agua por el usuario del sector (CONAGUA 2007), resultando en promedio de 150 L/persona/día, esto tomando como base los resultantes investigados de 3m³ promedio de suministro semanal al sector por cuenta y la existencia promedio de 3 personas por domicilio, que haciendo calculo para un día se obtiene en promedio 150 L/persona/día. Este resultado es importante para la modelización real y para determinar, en un futuro próximo, el comportamiento del flujo continuo y de la demanda. Para ello se utilizaría el modelo de simulación EPANET.



Los cálculos de previsión de la demanda, basados en el análisis del consumo, dieron como resultado lo siguiente:

- 3.500 cuentas de usuario en el sector.
- 3 usuarios por cuenta significa 10,500 usuarios en total.
- 150 L/persona/día equivalen a 1,605,500 L/día o 18,6 L/seg.

El sector Riberas de Sacramento, dispone de un caudalímetro que permite generar el grafico del caudal real suministrado en el sector. Las características del consumo en Riberas del Sacramento: consumo promedio real en la zona (150 L/persona/día), horas de mayor consumo (17:00-21:00), pico máximo de caudal requerido para saturación L/seg (500-1,000 L/h) , siendo la mediana de consumo (2 m³ a 4 m³ promedio por semana) en el sector.

Además del consumo per cápita, se estima el requerimiento de agua de las zonas verdes en el sector, que en estos momentos no cuentan con la posibilidad de suministro de agua residual tratada familia (Fan et al. 2013). Con ello detectar ciertas variantes en el suministro de forma estacional (Willis et al. 2013).

El análisis del sector muestra que la mayoría de los usuarios encuestados se clasifican como: familia de tres miembros, casa de una planta, que no disponen de medidor y se conectan a la red con una manguera (es decir no tienen un arco medidor en forma).

El análisis multivariante nos muestra las relaciones y factores importantes, sin embargo no permite establecer la envolvente de la presión requerida en el sector, con la finalidad de establecer los límites mínimos y máximos de su magnitud, tiempo de permanencia y tránsito en la red; lo cual es necesario para determinar el PHD para establecer un modelo de gestión de operación en el sector, que satisfaga la demanda tanto en un suministro intermitente como continuo.

Se establece la relación directa entre el consumo y el número de inodoros de la vivienda. El número de usuarios similares refleja una tendencia que puede considerarse un patrón a la hora de normalizar su consumo a un valor medio detectado.



La correlación entre variables dio lugar a varios gráficos, con un resultado común entre los valores de consumo y las condiciones de habitabilidad, agrupando por localización según la clasificación realizada. Mediante el análisis estratigráfico previo fue posible encontrar una muestra uniformemente distribuida que refleja el comportamiento general del sector.

El suministro intermitente obligó a los usuarios a desarrollar prácticas de consumo, incluyendo el almacenamiento en tanques de agua y cisternas, y a reducir el consumo durante las horas en que las válvulas de suministro están cerradas. Un factor importante a considerar es la detección del impacto generado por el constante llenado de los tanques de almacenamiento individuales que afecta el tiempo que tarda la red en restablecer un flujo continuo de agua.

La intermitencia en el suministro de agua afecta invariablemente al patrón de consumo del usuario bajo el horario de servicio, pues tarda como mínimo de 1 hora para llenar el depósito doméstico de las viviendas más cercanas al inicio del suministro.



Capítulo 4: Hábitos de consumo de agua potable durante el servicio intermitente en el Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, México.

En el desarrollo y determinación del PHD para definición de una gestión de operación, es necesario contar como elemento o factor base, tanto la envolvente de presión en magnitud como en su comportamiento espacial y temporal. Es por ello que se profundiza en el conocimiento de la población a atender la vulnerabilidad y alta complejidad en la provisión de servicios urbanos básicos (Escolero et al, 2016).

El consumo de agua está determinado por múltiples variables entre las que se encuentran: el clima (temperatura, precipitación, humedad relativa), factores sociales (número de habitantes por vivienda, composición familiar, nivel educativo, estrato social), factores económicos (ingreso familiar, precio del agua, consumo histórico) y/o factores culturales (estilo de vida de las personas, valores, normas y modelos sociales, creencias asociadas al comportamiento ambiental), que tendrán diferente relevancia dependiendo del contexto (Manco et al, 2012). Estimar correctamente la demanda de agua potable es muy importante en la planificación y diseño de los sistemas de abastecimiento, lo que determina en gran medida tanto la inversión necesaria como la calidad del servicio (Tzatchkov V., et al. 2016).

Cada vez más ciudades no disponen actualmente de servicios de agua potable las 24 horas del día y abastecen a su población de forma intermitente en determinados momentos del día. Los suministros intermitentes se implementan como política del abastecimiento de agua potable a una población con un crecimiento exponencial acelerado en la que no se dispone de la infraestructura necesaria para satisfacer toda la demanda. (Manco et al. 2012).



La caracterización en la zona de Riberas de Sacramento se determinó con un suministro intermitente de agua potable, considerando que es la situación más crítica; dado que es cuando se tiene “mayor” requerimiento para desplazar el flujo en el sistema en menor tiempo, que incide en la distribución y comportamiento de la presión en el sistema; así como la “sobredemanda” por requerimientos de almacenamientos domésticos.

Posteriormente se lleva a cabo la transición a un denominado semi tandeo, donde las tuberías están presurizadas a un nivel mínimo, durante las horas en que no hay servicio, con la finalidad de cuantificar la cantidad de volúmenes de agua que pueden estar alimentando las fugas en el sector y que llegan a ser parte de la demanda en un horario continuo.

La caracterización del patrón de uso y consumo de los usuarios incide en la presión requerida, que debe ser suficiente para llenar un depósito y satisfacer las necesidades básicas de higiene en un horario fijo. La herramienta para la definición del patrón de comportamiento fue la recolección de información obtenida de la entrevista adecuada a los usuarios para este fin.

Este cuestionario aborda las características de los hogares, como son: los ingresos familiares, el número de habitantes y el consumo mensual de agua, el grado de satisfacción con el servicio de agua existente, la importancia del servicio de agua potable para cada usuario y los diferentes usos que cada uno da al agua en sus actividades cotidianas (Blanchet 2021).

El número de encuestados fue determinado utilizando los valores previos de muestreo obtenidos en el diseño de experimento del capítulo 2, a excepción de dejar vacantes algunos lugares donde fue imposible el acceso al registro medidor del usuario en la zona o no se permitió por parte de usuarios su colocación.

El total de encuestas que representan a los 4 grupos del sector son 49, donde a la par se instaló un medidor de agua ultrasónico con un datalogger (Figura. 4.2) para registrar el consumo y la presión, con el fin de obtener datos relevantes para el análisis del consumo de los encuestados, así como detectar un patrón de consumo característico.



Figura 4.2 Medidor de agua ultrasónico y registrador de datos instalados en el RDS (Mendoza et al, 2022).

Para la encuesta se realizaron 34 preguntas, enfocadas a identificar el nivel de satisfacción de los usuarios con el servicio de agua potable, en las condiciones actuales de operación y con la infraestructura existente. El estudio se realizó en diferentes momentos desde septiembre de 2020 hasta febrero de 2021.

Tras la recopilación de los datos de consumo y medición de presión, así como de las respuestas a la encuesta, los datos se analizaron mediante gráficos, tendencias de patrones y exponenciación de valores (Díaz 2001).

Los resultados en resumen de las encuestas se muestran en las Figuras 4.3 y 4.4



Resultados de encuestas sobre patrones de uso y consumo de agua al usuario						
1. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?						
0-2	3-4	5-6	7 o mas			
19	21	9	0			
2. ¿Dispone de un sistema de almacenamiento de agua potable?						
Tinaco	Cisterna	Cubetas	Ninguno	Otro		
46	0	1	2	0		
3. ¿Considera que la calidad del agua que le llega es adecuada?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
2	1	4	2	40		
4. ¿Qué problemas ha detectado con respecto a la calidad del agua?						
Agua turbia	Color	Sabor	Olor	Solidos	Ninguno	Otros
1	0	3	2	0	42	1
5. ¿Bebe agua directamente del grifo?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
42	1	0	2	4		
6. ¿Considera justo el importe que se le cobra en la factura?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No contesto	
8	9	14	4	13	1	
7. ¿Cuánto agua (m ³) paga regularmente al mes?						
0-100	100-200	200-350	350-500	500-700	700-1000	1000 o mas
1	11	29	7	0	0	1
8. ¿Considera que tiene suficiente presión de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
2	4	3	9	31		
9. ¿Qué problemas ha detectado en relación con la presión del agua?						
Baja presión	alta presión	Baja presión en verano	Alta presión en invierno	Poco tiempo de presión al día	Ninguno	Otros
7	2	1	0	2	36	1
10. ¿Cuántas horas de presión tiene al día?						
0-1	2-3	4-6	6-8	Todo el día		
0	3	11	35	0		
11. ¿Le da mantenimiento a su tinaco o cisterna?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
4	2	7	14	22		
12. ¿Su cisterna o tinaco alcanza a llenarse con el agua que le llega de la calle?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica	
5	1	0	6	36	1	
13. ¿Considera que se suministra aire por las tuberías de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
38	5	4	2	0		
14. ¿Compruebas que las lecturas de los medidores de agua coinciden con las que aparecen en las facturas?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
38	2	0	6	3		
15. ¿Comprueba si hay fugas en su medidor de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
0	0	0	2	47		
16. ¿Revisa si hay fugas dentro de la casa?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
0	0	0	1	48		

Figura 4. 3 Agrupación de los resultados de la encuesta estandarizada - valores más altos sombreados (parte 1)

(Mendoza et al, 2022).



17. Si se detecta una fuga en las tuberías de agua, ¿se repara rápidamente?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	2	47	
18. ¿Cuál es el sistema de aire acondicionado con el que cuenta en su vivienda?					
Aire acondicionado	Minisplit	Ventilador	Ninguno	Otros	
32	2	12	12	0	
19. ¿Utiliza aire acondicionado?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
24	8	11	6	0	
20. ¿En qué estaciones utiliza el aire acondicionado?					
Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Nunca	
0	25	0	0	24	
21. ¿La factura aumenta cuando se utiliza el aire acondicionado?					
Si				No	
7				42	
22. ¿Hay gente en casa en todo momento?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
4	5	6	11	23	
23. ¿Todos los miembros de la familia utilizan la ducha a diario?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
1	0	11	4	33	
24. ¿Cuánto dura la ducha de cada persona, menos de 10 minutos?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica
2	9	9	4	22	1
25. ¿Riega el jardín?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
27	3	9	3	0	
26. ¿Lava la ropa en la lavadora y/o en el lavadero?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
2	4	23	19	1	
27. ¿Descarga el inodoro inmediatamente después de usarlo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	1	0	48	
28. ¿Se lava las manos inmediatamente después de ir al baño?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
29. ¿Las personas de su casa cierran la llave del agua cuando no la utilizan al lavarse los dientes?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	1	48	
30. ¿Los habitantes de su casa cierran el grifo del agua cuando no la utilizan para lavar los platos?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	1	48	
31. Si las personas de su casa ven un grifo abierto o que gotea, ¿lo cierran?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
32. ¿Evita jugar con el agua del grifo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
33. ¿Lava el vehículo con agua del grifo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
43	4	2	0	0	
34. Al lavar el vehículo, ¿utiliza menos de 40 litros de agua (2 cubetas)?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica
0	1	1	2	2	43

Figura 4.4 Agrupación de los resultados de la encuesta estandarizada - valores más altos sombreados (parte 2)

(Mendoza et al, 2022).



A continuación se enlistan las preguntas y su análisis que conforman la entrevista que se realizó:

1. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?

El promedio de ocupantes por vivienda en 2020 fue de 3.2 según datos del CENSO de población (INEGI, 2020), En específico para el sector se obtuvo que el número de personas que habitan la vivienda fue de entre 3 y 4 personas, lo que da un promedio de 3.5, esto refleja una zona con mayor número de personas en vivienda que la media nacional.

2. ¿Dispone de un sistema de almacenamiento de agua potable?

El tipo de almacenamiento más común es el tinaco o depósito de agua en un 94%.

3. ¿Considera que la calidad del agua que le llega es adecuada?

El 82% de los usuarios respondieron que la calidad del agua es adecuada, lo que refleja una condición fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras.

4. ¿Qué problemas ha detectado con respecto a la calidad del agua?

El sabor y olor del agua se detectan a través de los sentidos, el color y turbiedad de manera cualitativa. El resultado de esta pregunta indica que la mayoría de los usuarios, expresó no percibir molestias en la calidad del agua, aunque existe un porcentaje de 14% de encuestados que sí percibe molestias, lo cual debe ser analizado más a fondo para descartar que se trate de un problema local.

5. ¿Bebe agua directamente del grifo?

Aunque en general los usuarios perciben que el agua que reciben es de buena calidad, el agua que dicen utilizar para beber no es la del grifo en un 86% de encuestados.

6. ¿Considera justo el importe que se le cobra en la factura?

La suma de las respuestas positivas muestra con un 63% que el cobro de la factura del agua es razonablemente aceptado entre la población.



7. ¿Cuánto agua (m^3) paga regularmente al mes?

Entre 200 y 350 pesos mexicanos es el valor que la mayoría de los usuarios expresan que se les cobra de cuota mensual. Considerando el volumen mensual que corresponde a este costo, resulta una dotación de agua de 190 L/hab/día y un volumen mensual de $21 m^3$.

8. ¿Considera que tiene suficiente presión de agua?

Considerando que una presión aceptable para suministrar agua potable a una vivienda es de $1kg/cm^2$, el 63% de los usuarios que respondieron que siempre reciben agua con presión suficiente en horarios de servicio.

9. ¿Qué problemas ha detectado en relación con la presión del agua?

Aunque hubo respuestas en las distintas categorías, la que más destacó y puso de manifiesto la satisfacción con el servicio fue "ningún problema", a pesar de contar con horarios de servicio.

10. ¿Cuántas horas de presión tiene al día?

Aunque la mayoría de los usuarios (71%) contestaron que cuentan con servicio de agua potable de 6 a 8 horas, un 29% de encuestados respondió tener menos de 6 horas de servicio, lo que representa un problema para poder satisfacer las necesidades del usuario en un menor número de horas. Esto considerando las horas de servicio que la dependencia suministra el agua a la red.

11. ¿Le da mantenimiento a su tinaco o cisterna?

Se pudo constatar que el 45% de los encuestados, afirman que es importante el sistema de mantenimiento del almacenamiento, pero no tienen una fecha programada para ello, lo que supone un riesgo para la salud debido a las bacterias y virus que se desarrollan en este medio.

12. ¿Su cisterna o tinaco alcanza a llenarse con el agua que le llega de la calle?

La mayoría de los usuarios (85%) respondieron que sus tanques de agua siempre o casi siempre se llenan con el suministro de la red, pero hay un pequeño porcentaje de usuarios que no lo hacen (15%), lo que sugiere que no tienen un buen servicio. Una vez más, reiteramos la necesidad de sondear las zonas en las que no se llenan los depósitos de agua debido a la posible incidencia de fugas no detectadas.



13. ¿Considera que se suministra aire por las tuberías de agua?

El 78% de los usuarios respondieron que no reciben aire a través de las tuberías, pero como hay usuarios que respondieron que tienen aire en las tuberías, es necesario verificar un posible problema hidráulico en la zona, como falta de válvulas expulsoras de aire o presión mínima de presurización deficiente en las tuberías durante las horas no “servicio”.

14. ¿Compruebas que las lecturas de los medidores de agua coinciden con las que aparecen en las facturas?

Los resultados de la encuesta muestran que el mayor número de usuarios respondió "nunca", lo que refleja que no se detectan fallas por parte del usuario en la operación de su medidor ni en los montos de consumo mensual.

15. ¿Comprueba si hay fugas en su medidor de agua?

En los resultados de la encuesta, el 96% dice verifica que no haya fugas, es decir, que no existan fugas en los medidores domiciliarios propios o del vecino.

16. ¿Revisa si hay fugas dentro de la casa?

"Siempre" presentó el 98% de respuesta para esta pregunta. Una inspección de este tipo es importante para evitar sorpresas de altos cargos por servicio, así como daños a la arquitectura de la vivienda.

17. Si se detecta una fuga en las tuberías de agua, ¿se repara rápidamente?

El 96% se determinó con la respuesta "Siempre", lo que refleja estar conforme como el organismo atiende oportunamente las fugas reportadas por los usuarios.

18. ¿Cuál es el sistema de aire acondicionado con el que cuenta en su vivienda?

El 65% de los usuarios cuentan con un sistema de climatización, lo que refleja la necesidad de los usuarios de contar con un sistema que les brinde la capacidad de regular la temperatura ambiente ya que viven en una zona semidesértica y esto implica una temperatura ambiente muy alta durante el verano.



19. ¿Utiliza aire acondicionado?

De acuerdo a la pregunta anterior, resulta relevante que casi la mitad de los usuarios, dijeron no utilizar el aire acondicionado, a pesar de contar con su equipamiento.

20. ¿En qué estaciones utiliza el aire acondicionado?

De acuerdo a los resultados de quienes poseen el sistema de aire acondicionado, el 51% de encuestados se presentó a utilizarlo durante la "Temporada de Verano"..

21. ¿La factura aumenta cuando se utiliza el aire acondicionado?

El 86% de usuarios respondió que la factura no aumenta cuando se utiliza el aire acondicionado. Esta pregunta se hizo ya que se asume que el uso de aire acondicionado evaporativo añade una gran cantidad de agua que repercute en la factura del usuario.

22. ¿Hay gente en casa en todo momento?

En esta pregunta, si sumamos las respuestas de los usuarios "muchas veces" y "siempre", se obtiene un 70%, siendo el mayor porcentaje de usuarios los que responden "siempre". Y el resto de usuarios encuestados, con respuestas "nunca", "pocas veces" y "en ocasiones".

23. ¿Todos los miembros de la familia utilizan la ducha a diario?

Un gran número de usuarios respondieron "siempre" y "a veces"; sumando estas dos respuestas, parece que casi todos ellos sí utilizan la ducha todos los días. Esto es indicativo de un patrón de consumo diario de agua potable.

24. ¿Cuánto dura la ducha de cada persona, menos de 10 minutos?

La respuesta se dividió casi por igual, por lo que se considera que la mitad de la población dura menos de 10 minutos y la otra mitad más de 10 minutos.

25. ¿Riega el jardín?

De nuevo, esta pregunta tiene respuestas divididas, prácticamente la mitad de la población riega el jardín, pero la otra mitad no lo hace, lo que nos lleva a un consumo dividido para esta actividad.



26. ¿Lava la ropa en la lavadora y/o en el lavadero?

"Muchas veces" y "en ocasiones" fueron las respuestas más frecuentes. Esto indica que hay un patrón casi diario para lavar la ropa y se puede considerar como un consumo rutinario dentro de la demanda diaria de los usuarios.

27. ¿Descarga el inodoro inmediatamente después de usarlo?

"Siempre" fue la respuesta más votada, aquí falta ahondar en cuantas veces se realiza esta actividad para considerar un volumen de demanda por parte del usuario de forma diaria..

28. ¿Se lava las manos inmediatamente después de ir al baño?

Lavarse las manos puede mantenerle sano y evitar la propagación de infecciones respiratorias y diarreicas de una persona a otra. El 100% de los encuestados respondió que siempre se lava las manos después de ir al baño, al igual que el punto anterior falta identificar cuantas veces se realiza para determinar un volumen de demanda.

29. ¿Las personas de su casa cierran la llave del agua cuando no la utilizan al lavarse los dientes?

Se puede observar que el mayor porcentaje de usuarios de la muestra respondió "siempre". Esto representa posiblemente una acción de conciencia en el cuidado del agua.

30. ¿Los habitantes de su casa cierran el grifo del agua cuando no la utilizan para lavar los platos?

El mayor porcentaje de los usuarios de la muestra contestó "siempre", sólo faltó preguntar cuántas veces al día y por cuánto tiempo lavan los trastes para correlacionarlo con altos consumos de agua por la cantidad de tiempo invertido en esta actividad.

31. Si las personas de su casa ven un grifo abierto o que gotea, ¿lo cierran?

El 100% de los usuarios encuestados respondieron que sí cierran el grifo cuando se produce una fuga. Recordando que 4,000 gotas hacen un litro de agua, esto nos da idea que los usuarios tienen cierto grado de cultura del agua.



32. ¿Evita jugar con el agua del grifo?

El 100% de los usuarios evita siempre jugar con el agua del grifo. Esto refleja la educación cultural de la zona y el respeto por el agua y su cuidado y uso de la mejor manera posible debido al clima semidesértico en el que viven.

33. ¿Lava el vehículo con agua del grifo?

Si se utiliza en un recipiente a la hora de limpiar el coche, se pueden utilizar hasta 50 litros de agua, pero si el coche se lava con una manguera, la cantidad puede llegar hasta los 500 litros de agua. Por ello, se constató que la población es consciente del elevado consumo de agua del grifo, por lo que la mayoría contestó que nunca lava el coche con agua del grifo.

34. Al lavar el vehículo, ¿utiliza menos de 40 litros de agua (2 cubetas)?

Aquí se reflejó una característica peculiar de los usuarios, y es que no todos disponen de vehículo propio, por lo que no consideran relevante utilizar una determinada cantidad de agua para lavar el vehículo, ya que no disponen de vehículo alguno.

Las lecturas históricas de los medidores de agua doméstica se utilizaron para establecer el consumo doméstico. El patrón de variación horaria, extraído de las mediciones de las 49 propiedades, se utilizó para establecer el caudal y la presión medios de cada intervalo de 15 minutos. Se determinaron los gráficos de consumo (Figura 4.5) y de presión (Figura 4.6).

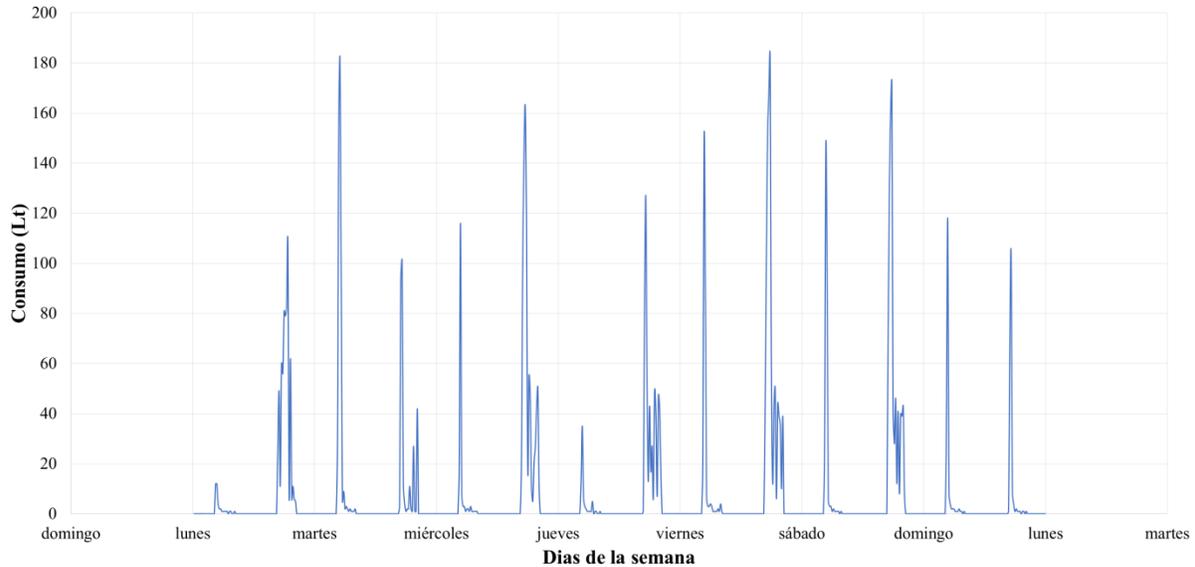


Figura 4.5 Ejemplo de datos de consumo en litros medido con lecturas a cada 15 minutos

(Mendoza et al, 2022).

En esta grafica se puede observar que la mediana de consumo diario oscila entre 100 y 120 litros, teniendo una variabilidad dependiendo del día, con valores máximos los días: martes, jueves y sábado, esto explicaría el patrón de consumo de cada tercer día con actividades como el lavado de ropa, lo que pudiera incidir en esa variación; un caso especial es el día domingo, en el cual los entrevistados comentan estar todos en casa, y posiblemente sea a mayor uso del agua en actividades como baño, lavar trastes e inodoros. Se considera el consumo máximo promedio de estos días de 180 litros; lo que hace que la variación diaria en estos días sea mayor al 60% del resto de los días.

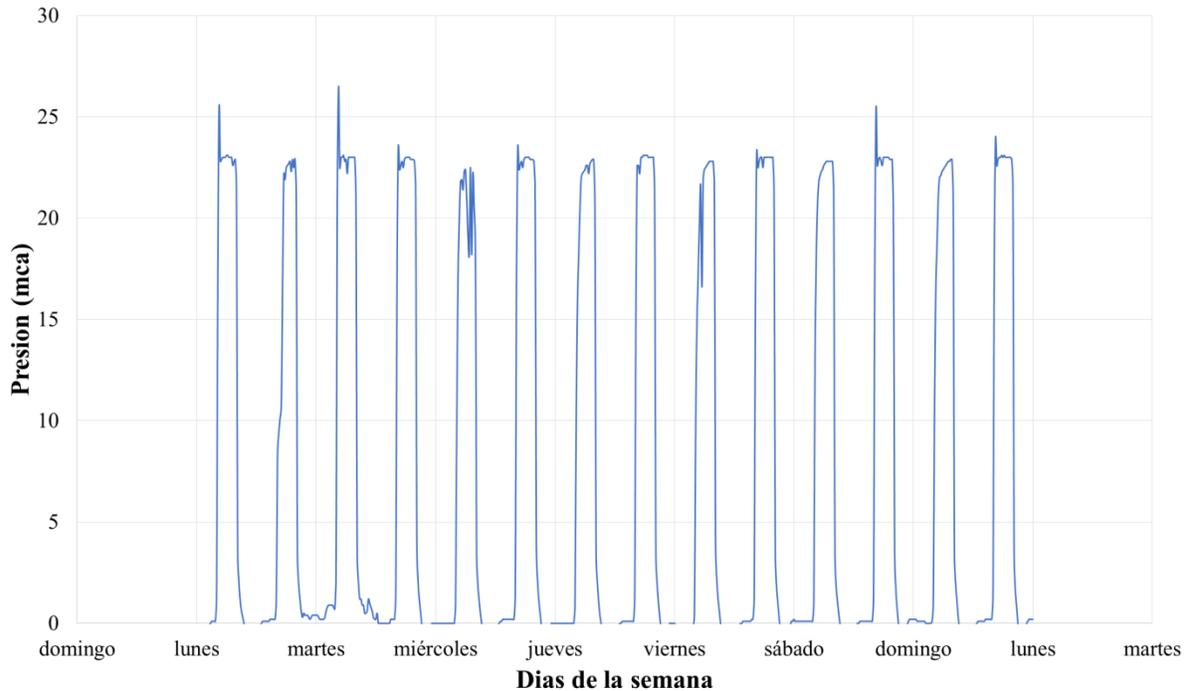


Figura 4.6 Ejemplo de presión de suministro de agua registrada (Mendoza et al, 2022).

En cuanto al comportamiento de la presión que se otorga al usuario, esta muestra que es constante y que a pesar de la variabilidad del consumo diario/semanal y horario/diario, lo que permite identificar que la magnitud de la presión no se ve afectada por la demanda y consumos máximos de los usuarios, lo que se verifica en esta situación es la incidencia de fugas en la que se pudiera impactar en alguna zona del sector por contar con presiones superiores 23 mca; magnitud superior a la requerida por el usuario. Los datos conglomerados se muestran de un período de una semana tanto en lo que respecta al consumo (Figura 4.7) como a la presión (Figura 4.8).

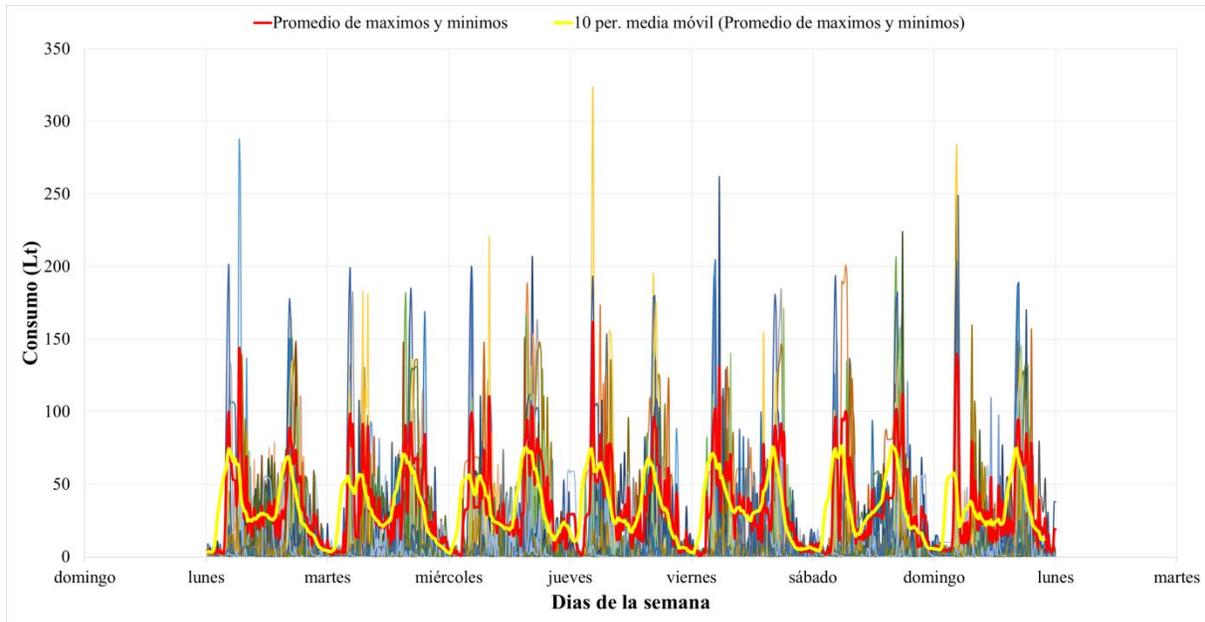


Figura 4.7 Conglomerado de mediciones del consumo en litros con lecturas a cada 15 minutos de los hogares y línea de tendencia que representa los patrones de consumo globalizados en RDS (Mendoza et al, 2022).

La grafica muestra las mediciones de los 49 puntos de medición en los domicilios; en la línea roja de tendencia se muestran valores promediados de máximos y mínimos obtenidos en cada instante de medición de la totalidad de las 49 mediciones, eso para lograr obtener una línea más equitativa en cuanto al suministro de agua a los hogares. Después, para lograr una línea más estilizada se elaboró una línea de tendencia amarilla que es el resultado de la media móvil de 10 periodos, con lo cual se logró atenuar las variaciones de los 49 valores de consumo instantáneo a lo largo de la semana en el sector y así reflejar el patrón de consumo globalizado en RDS.

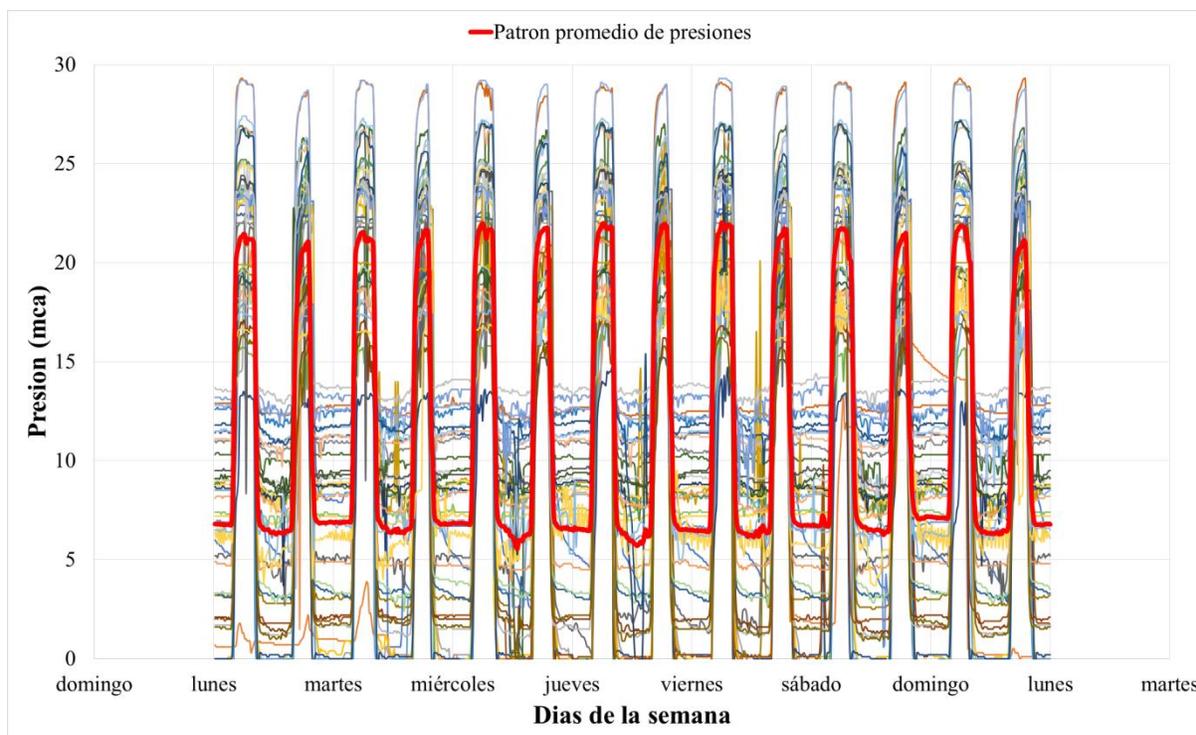


Figura 4.8 Presión real del suministro de agua y línea de tendencia de la presión media en RDS durante la semana (Mendoza et al, 2022).

La grafica muestra los 49 puntos de medición de presión en el sector, como se puede visibilizar corresponde a un servicio semitandeado, como ya se explicó anteriormente, esto significa que se reduce la presión en la VRP de entrada a una magnitud mínima para no vaciar totalmente la tubería en el sistema, pero que se define un horario de servicio; el cual es cuando se tiene mayor magnitud en la VRP y corresponde cuando el usuario requiere o utiliza mayormente el agua en sus domicilios. La tara en la VRP en horario de “no servicio” es de 5 mca, el 85% de los puntos de medición de presión registran presiones por encima de este valor en el horario denominado de “no servicio”, lo significa que el usuario si puede tener posibilidad de seguir con el servicio, del 15% restante, solo en 2 puntos llega a 0 mca, lo que se considera para definir una optimización del sector y evitar el vaciado de esta parte del sector, aunque son pocos los usuarios y corresponden al más alto topográfico. La línea roja que corresponde al promedio ponderado de la presión en todos los puntos de medición, muestra que los usuarios del sector tienen un servicio



continuo, es decir que en el horario asignado como de “no servicio” por disminución de presión en la VRP de entrada del suministro al sector, el usuario puede continuar haciendo uso del agua en sus domicilios con presión para sus necesidades básicas, en especial si son casas de un solo nivel. Dado que el valor promedio es de 7 mca.

La media móvil es un intento de eliminar las fluctuaciones a corto, medio y largo plazo en función de la duración del periodo de la media móvil (Montgomery, 2004). En esta investigación se tuvo en cuenta una media móvil de 10 periodos para el análisis de los datos de consumo debido a la necesidad de atenuar las variaciones de los 49 valores de consumo instantáneo a lo largo de una semana. A continuación, se desarrollaron los patrones correspondientes, a partir de la media móvil, utilizando los promedios máximos y mínimos presentados en cada conglomerado de datos por tiempo de similitud de una semana. Así se obtuvo el factor de demanda correspondiente al uso a lo largo de la semana en RDS (Figura 4.9), así como el patrón característico de presión de suministro (Figura 4.10).

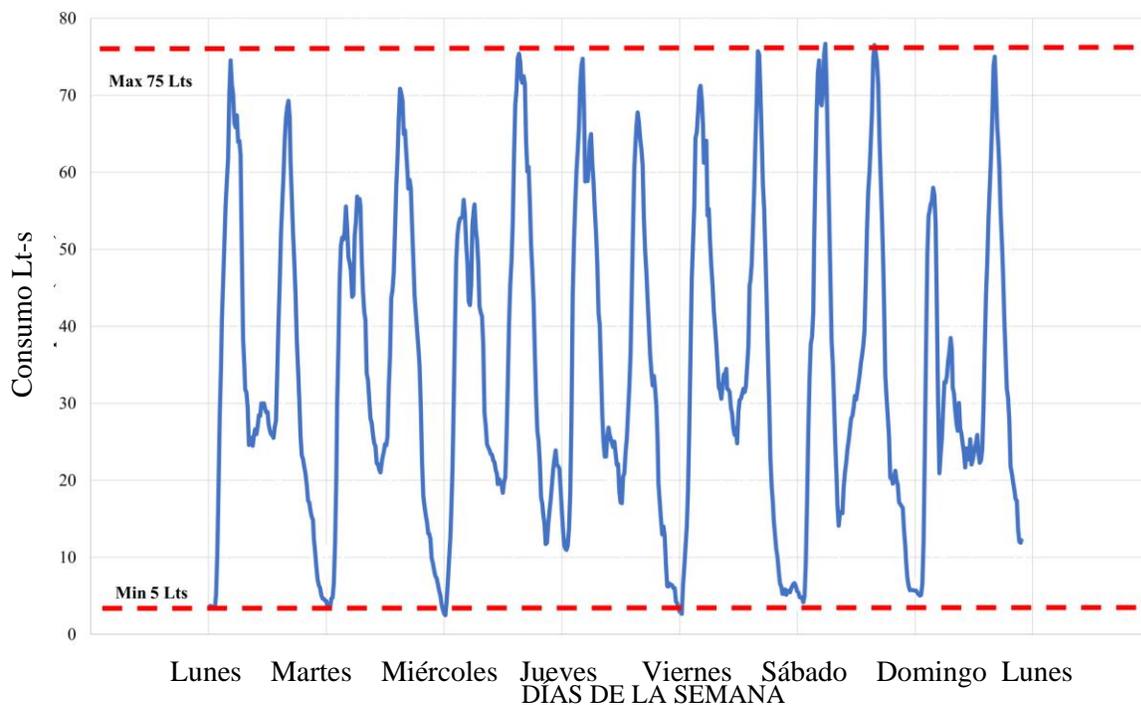


Figura 4.9 Factor de demanda de agua para usuarios en RDS. También se muestran los niveles máximo y mínimo de la semana (Mendoza et al, 2022).



El factor de demanda refleja una estimación de lo que la población consumirá agua a lo largo del día y de la semana, teniendo en cuenta que se adapta no sólo a un suministro continuo, sino también a un suministro intermitente, así con el análisis de los datos, se determina que el sector en horario de mayor uso del agua, requiere hasta 75 litros diarios, aunque este valor no sea habitual en todos los días de la semana, se podría considerar que con 65 lts como suministro máximo en el sector se cubriría la máxima demanda promedio todos los días de la semana. Se considera que 55 litros por día es el caudal promedio de demanda en el horario de servicio. En cuanto al caudal mínimo requerido para no vaciar la red en el sistema del sector es de 5 litros, este valor incluye el poco uso o consumo que se dan en el horario definido como no servicio y las fugas no visibles en el sistema.

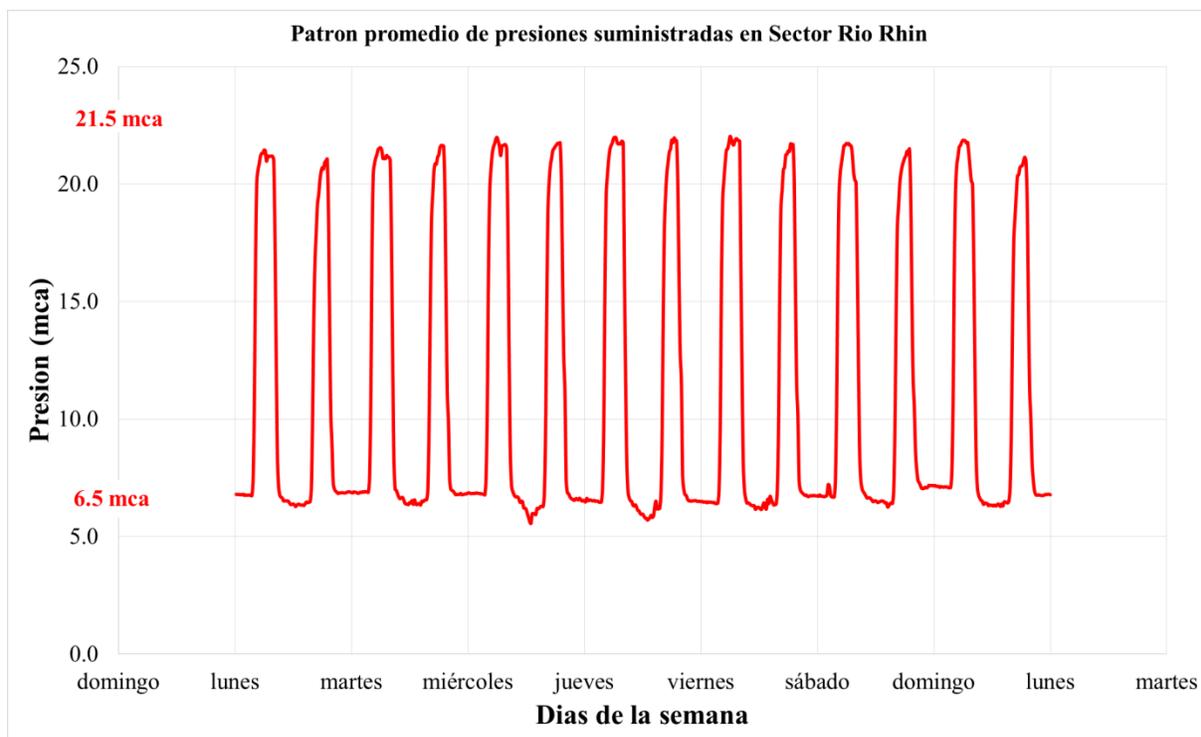


Figura 4.10 Patrón de presión de suministro media móvil en RDS. También se muestran los niveles máximo y mínimo (Mendoza et al, 2022).



La figura muestra que la presión promedio mínima en el sector es de 6.5 mca y el promedio máximo de 21.5 mca, la cual se sostiene en el sector como mínimo en un intervalo de 6 hrs, suficiente tiempo para el llenado de los almacenamientos domésticos y el uso del agua en el intervalo de mayor requerimiento por parte del usuario.

La combinación de un análisis horario del patrón de consumo semanal con el patrón de presión media del suministro, permitió determinar un factor de demanda englobado en el patrón de presión media del suministro del sector a lo largo de 24 horas, lo que podemos definir como el PHD requerido en el sector, el cual será suficiente para operar con suministro intermitente o continuo, esto se basa en la manipulación o gestión de la magnitud y permanencia de la presión en la red del sector, a partir de las consignas definidas para la VRP de entrada del suministro (Figura 4.11).

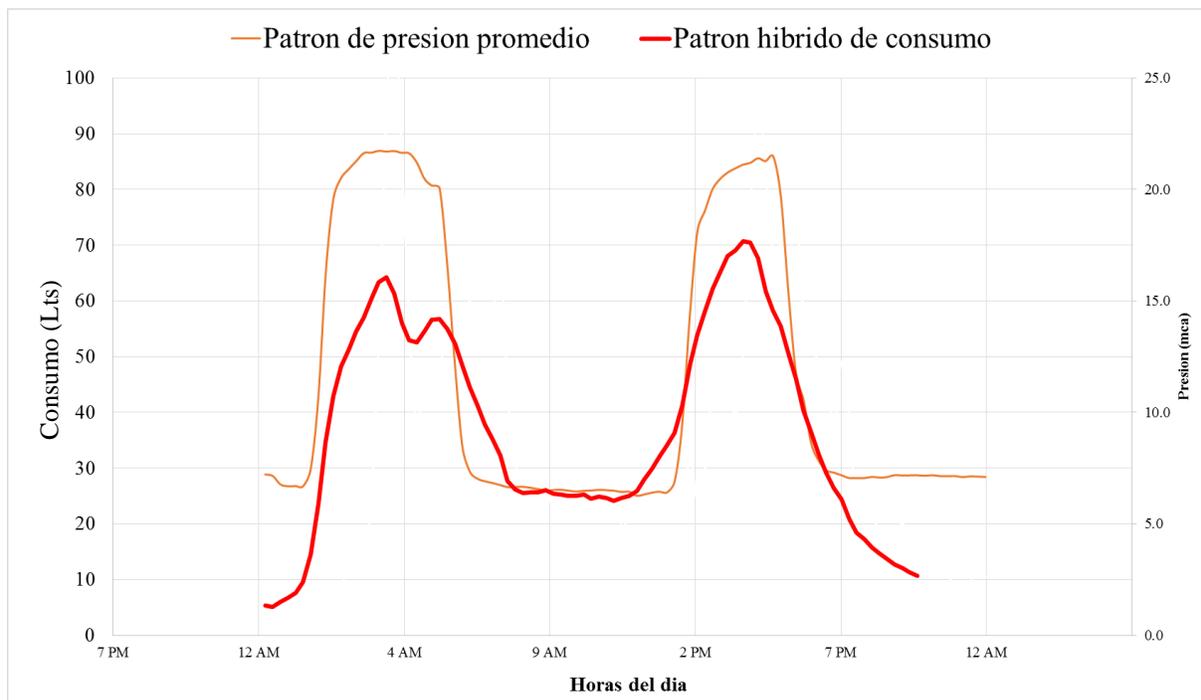


Figura 4.11 Promedio de presión y factor de demanda en RDS a lo largo del día con valores de consumo en litros ponderados de lecturas a cada 15 minutos (Mendoza et al, 2022).



Esto tiene el potencial de ser utilizado en los cálculos de suministro y operación y en las proyecciones de los sectores a "mover" de servicio intermitente a continuo. También permite gestionar la presión para reducir las pérdidas en los momentos de bajo consumo.

El análisis de las encuestas permitió un primer acercamiento a los usuarios, cuya participación era importante. Los resultados ofrecieron una visión general de las pérdidas de agua, así como del valor del servicio y del interés de los usuarios por cuidarlo.

Si el servicio es intermitente, es necesario almacenar el agua en casa, lo que se requiere es determinar la capacidad de almacenamiento necesaria. En RDS, con su suministro intermitente, se necesitan tanques de almacenamiento, con al menos 800 lts de capacidad, y el 96% de los encuestados disponen de ellos.

Los resultados del cuestionario mostraron que el sector es de clase baja teniendo en cuenta la cantidad que consideran pagar por la factura del agua y un 47% de los encuestados tienen ingresos suficientes para cubrir los gastos de comodidad.

En cuanto al análisis de los datos de consumo y presión para obtener patrones característicos del sector, se señala la importancia del resultado, ya que a partir de este patrón se podrá inferir el posible comportamiento general del sector en un servicio continuo que aproveche los horarios y los valores de consumo resultantes para satisfacer las necesidades de los usuarios del sector.

Un ejemplo de cómo la obtención de este factor de demanda ayuda a inferir comportamientos o necesidades futuras de la población, es a través de la comparación de la demanda obtenida en la gráfica de presión media y demanda, donde para suministrar 70 lt/seg con una presión de 2 kg/cm², se requiere que la tubería óptima para la circulación de ese caudal, sea de 6 pulgadas; acorde a la teoría hidrodinámica del cuadrado del diámetro de la tubería multiplicado por la presión de trabajo (Hernández 2014).

Los resultados obtenidos muestran las diferentes percepciones del servicio de agua potable prestado a la población, que en general con respecto a: la satisfacción con la calidad del agua suministrada, una presión considerada suficiente, poco o nada de aire en el suministro de agua, y



un adecuado cobro del servicio, así parece que los usuarios del sector tienen conciencia de la importancia y responsabilidad del uso del agua potable, evitando en lo posible el desperdicio de la misma.

Se utiliza la media móvil para analizar un conjunto de datos en modo de puntos para crear series de promedios. Así la media móvil es el promedio de un subconjunto de los datos originales. Es una técnica elemental de predicción.

Combinando los valores obtenidos de las mediciones de consumo y presión, se obtienen los patrones medios de presión y consumo, con los que se calcula una media móvil de 10 periodos. que proporciona un gráfico más estilizado del factor de demanda de la población para correlacionarlo con la presión actual suministrada.

Una propuesta de modelo de gestión del abastecimiento de agua potable a un sector determinado, se basa en obtener los datos de consumo y presión de una zona de características similares y mediante su análisis del factor de demanda, con ello calcular el consumo medio a lo largo del día por la variación en la apertura del caudal para que llegue más agua a los hogares cuando más se necesita.



Capítulo 5: Discusión de Resultados

La selección del sector fue basada en que los patrones de consumo actuales, se consideraran altos consumos para la calidad de vida de personas que habitan el lugar, como una inferencia del tipo de suministro intermitente.

El modelo de gestión implicó la realización de la modelación de la red de distribución existente con flujo continuo e intermitente y la determinación de la demanda en ambos casos para ese sector. Lo que conllevó que se requiriera la generación de datos muy específicos, apoyados por equipos de última generación.

La recopilación de mediciones, fue un trabajo extenso y complejo, con lo cual se obtuvo valores de consumos y presiones tanto globales de sector como de los usuarios, los cuales fueron seleccionados de forma estadística para su representatividad, y con ello definir el modelo de gestión y operación de la red.

Para corroborar datos de flujo de suministro a través de redes de distribución y cumplir con el objetivo particular No 1 “Obtener actualización de la topología de la red existente de zona de estudio”, se llevó a cabo la construcción del modelo real de la red de distribución, utilizando el software EPANET, lo que se muestra en la Figura 5.1. Esto fue corroborado mediante recorrido y revisión en campo, con lo cual se verificó las condiciones existentes en la red hidráulica del sector, así mismo se llevó el registro de diámetros y materiales de tuberías como se aprecia en la Figura 5.2.

El objetivo particular No 2 “Caracterizar el comportamiento hidráulico de la zona de estudio”, se concreta utilizando los datos obtenidos en el levantamiento en campo e introducirlos al EPANET y visualizar la distribución de flujos y presiones, el cual se puede apreciar en Figura 5.3.



Para cumplir con objetivo particular No 3 “Caracterizar el diseño de experimento para analizar suministro de agua potable en servicio continuo e intermitente”, se determinó mediante el diseño de experimentos, la selección de puntos específicos en el sector considerando características como: la topografía, condición social, datos de consumos previos y condición hidráulica, esto se puede apreciar en Figura 5.4, donde se distinguen cuatro zonas de diferente condición que sirvieron de base para la ubicación de puntos de medición para el experimento.



Figura 5.4 | Áreas homogéneas de Subsector 3 en ARCGIS (Mendoza & Navarro 2020).

La revisión de datos de consumos y presiones de usuarios del sector, durante el periodo de 2017 a 2019, permitió identificar factores, para llevar a cabo el cambio de régimen de operación de intermitente a continuo, el cual es el objetivo particular No 4 “Análisis de transición de suministro intermitente a continuo en sector particular con datos históricos de consumo”.

Cuando la red tenía suministro intermitente, podemos visualizar que el gasto máximo demandado o suministrado (línea negra), no son muy distintos en ambos bloques de horario (155 lps), sin embargo como muestra la Figura 5.5, el área bajo la curva del bloque vespertino es mucho mayor, aproximadamente el doble del volumen del turno de la mañana, en el tiempo en que se “estabiliza” el suministro, esto se atribuye al llenado de los depósitos intradomiciliarios. Dando



que el volumen suministrado en el horario matutino sea de 1051 m³ y en horario vespertino de 1484 m³, casi 40% más en el horario vespertino.

En cuanto al comportamiento de las presiones en el sector, la línea azul muestra la operación de la VRP (Válvula Reguladora de Presión), se puede observar que permanece el mismo tiempo abierta en horario matutino y vespertino e incluso que su consigna de operación es la misma a 13 mca, sin embargo responde de forma que su estabilización depende de la saturación y comportamiento del caudal (línea negra); también se puede observar que en ambos bloques de servicio la VRP tiene una pequeña succión. Las presiones en los puntos críticos del sector (más alto y más bajo), que corresponden a las líneas verde y amarilla respectivamente, se muestran con un comportamiento paralelo a la VRP, solo podemos diferenciar que el punto topográfico más bajo (línea amarilla) mantiene presión entre bloques de servicio, aun cuando se mantiene la VRP cerrada.



Figura 5.5 | Gráfica de gasto y presiones de entrada a sector, salida a sector y puntos críticos Riberas de Sacramento con suministro intermitente.

Cuando el sector fue controlado con gestión de presiones y cambiada la operación a suministro continuo, mostro el comportamiento de la Figura 5.6, en el cual se ve que no existe bloques de demanda, solo un comportamiento diario, donde el máximo se da aproximadamente a las 12 hasta las 6 de la tarde. Las presiones en el sector en los puntos críticos son paralelas al



comportamiento de la VRP, teniendo solo la variabilidad topográfica entre los puntos, en ningún momento se vacía la tubería o se tiene presiones menores o iguales a 0.

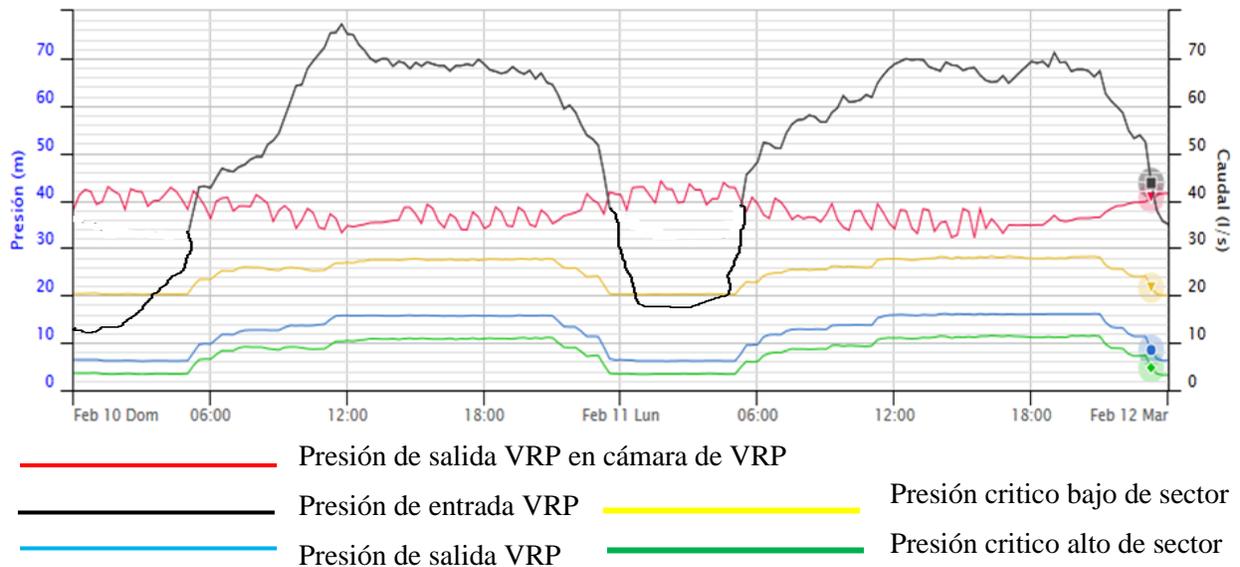


Figura 5.6 | Gráfica de gasto y presiones de entrada a sector, salida a sector y puntos críticos Riberas de Sacramento con suministro continuo.

El volumen de agua requerido en el sector sin cambio de infraestructura o rehabilitación por el solo hecho de cambiar de régimen de operación y gestionar presiones es menor. El volumen en suministro continuo es casi el 30% menor que en suministro intermitente, los gastos máximos son 3 veces mayores en suministro intermitente, eso impacta en el estrés que sufre la tubería y la posibilidad de falla. El caudal mínimo nocturno aún se mantiene alto en 20 lps, (29% del caudal máximo diario), por lo que es necesario la búsqueda de fugas no visibles,

Se analizaron valores de fugas y faltas de agua durante el mismo periodo 2017 – 2019, con la finalidad de ver la respuesta de estas (fugas y faltas de agua) a los regímenes de operación.

En la figura 5.7 se muestran tres imágenes sobre los registros de falta de agua reportados por los usuarios, en el círculo se indica dónde está el sector referido en este trabajo.

En los mapas de calor del 2017 y 2018, se aprecian reportes clasificados en color amarillo con mayor extensión, los cuales tienen un valor de 200, en cambio ya para el 2019, el color amarillo solo se concentró en dos pequeñas zonas. Que corresponde ya al periodo de un suministro

continuo, cabe destacar que estas dos pequeñas zonas, en realidad no tuvieron falta de suministro como tal, se debió a que los usuarios la reportan así, pues estaban acostumbrados a una magnitud mayor de presión (línea amarilla de 35 mca (fig. 5.5)) y ellos consideran que, la que se le está suministrando es insuficiente (20 mca).

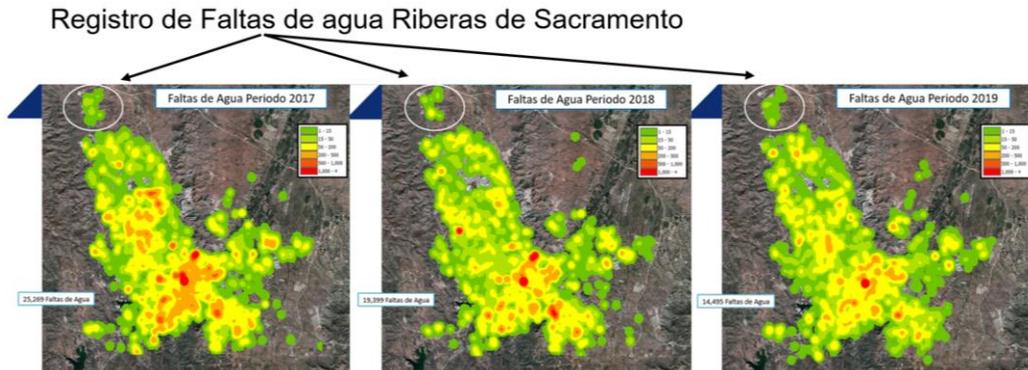


Figura 5.7 | Comparativa de reportes recibidos por la JMAS del 2017 al 2019 de Faltas de Agua.

En los mosaicos comparativos de reportes de fugas, recibidos por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua, en el departamento del CIS, muestran en el sector incidencias de reportes en color rojo, estos con magnitud entre 500 y 1000; para el 2019 desaparecen los reportes de fugas visibles en las tuberías, es por ello que no se ve el color rojo, esto debido al cambio de régimen de operación. Aunque como se ve en la figura 5.8, persisten fugas no visibles y que en su mayoría corresponden a tomas domiciliarias y en el cuadro donde se encuentra el medidor.

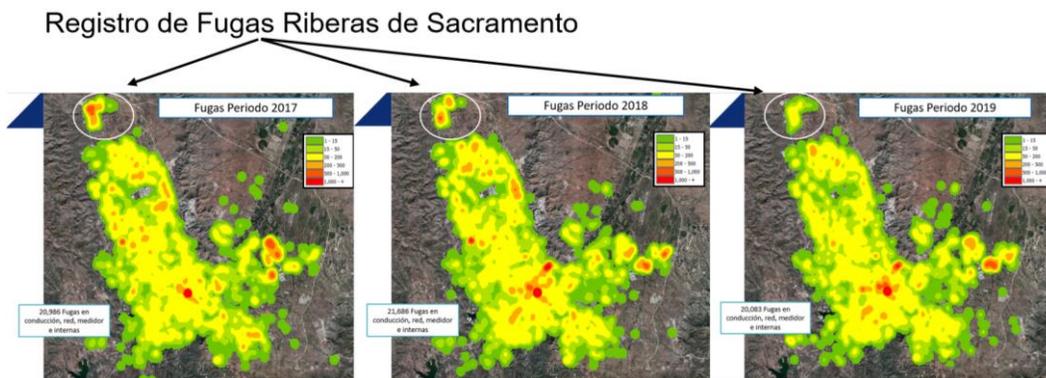


Figura 5.8 | Comparativa de reportes recibidos por la JMAS del 2017 al 2019 de Fugas



El análisis de datos del consumo medido en micro medidores domésticos, muestra un incremento de volúmenes medidos en los usuarios de forma transitoria, en el 2018 y un contundente aumento en el consumo promedio con régimen de operación continuo (2019) Fig. 5.9, esto es posible que se deba al mejor funcionamiento de los micromedidores en suministro continuo y no en sí, a un incremento real de los usuarios.

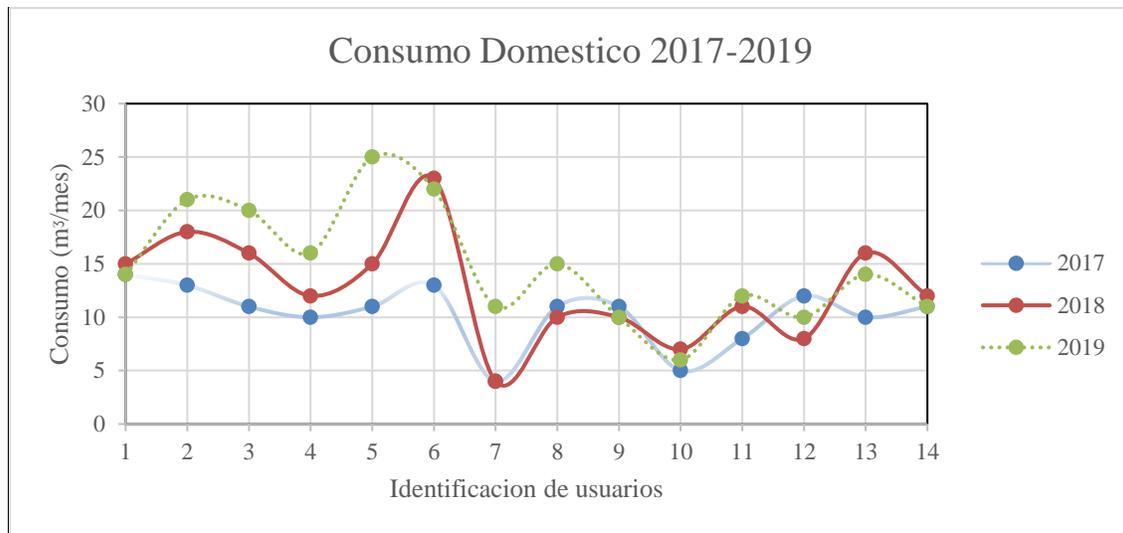


Figura 5.9 | Variación de consumo de agua de varios subsectores (Mendoza & Navarro 2020).

La técnica de muestreo y aceptación Military Standard 105E provee una técnica practica y sencilla para la cuantificación de puntos necesarios de medición que brindan la representación mínima necesaria para la caracterización de una muestra, tomando esta técnica de muestreo sobre zonas dentro del sector con diferentes características técnicas, económicas y sociales ya definidas con anterioridad (Fig. 5.4), se determinó la selección de puntos de medición para cumplir con objetivo particular No 5 “Caracterizar zona de estudio para determinar cantidades mínimas de registros”.

La mínima cantidad de puntos necesarios de medición, fue referida en el primer artículo que desarrolla esta investigación, cuyo proceso de identificación y selección de usuarios susceptibles de medición se obtuvo en base a un detallado diseño de experimento que ayudo para la obtención posterior de datos de presión y consumo que con su respectivo análisis brindan una propuesta de modelo de gestión considerando un patrón hibrido de demanda identificable.



En el segundo artículo de investigación, se aborda el análisis del consumo de agua en usuarios domésticos empleando micromedidores inteligentes en un área suministrada por servicio intermitente. Además, se complementa el análisis de consumo, con la recopilación de información de características de usuarios, que se involucran en el uso del agua para las personas, ambos datos se ven reflejados en el mosaico de graficas circulares, de resumen final de datos, los cuales se pueden apreciar en la Figura 5.10.

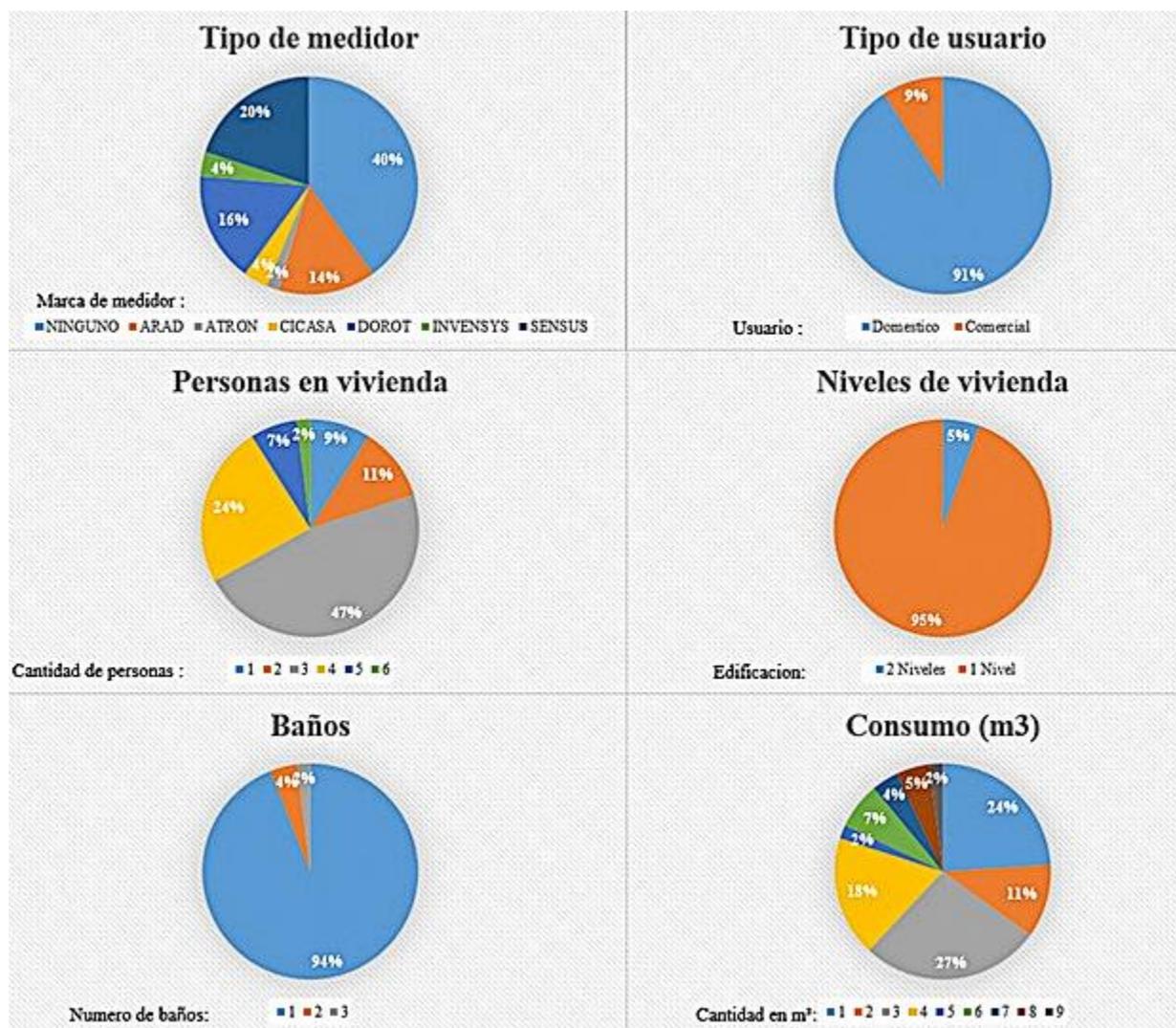


Figura 5.10 | Resumen de factores que influyen el consumo de agua en Riberas de Sacramento

(Mendoza & Navarro 2022).



Se detectó con datos recopilados de las encuestas, que los consumos del agua dependen, en gran medida de: el número de baños con que cuenta el usuario, el tamaño de la casa y el número de habitantes del hogar.

Las mediciones de consumo y presión en domicilios, se hicieron con micromedidor Contazara CZ4000 y registrador Multilog 2 respectivamente, los cuales son equipos de tecnología avanzada que permiten obtener valores con un Rango Dinámico de hasta 1000 para el medidor (CONTAZARA, 2022) y una frecuencia de muestreo de hasta 25 muestras/segundo en caso del registrador de presión (HWM, 2022) y poder ser utilizados para posteriores análisis.

Al hacer el análisis de los datos y debido a su heterogénea de mediciones, se clasificaron por rangos y características de los usuarios para identificar los patrones de consumo, con ello también se corroboró el régimen de operación.

Al graficar los valores de las encuestas y los datos totales de consumo por semana, se encontró que la mayoría de los usuarios domésticos, tienen: en promedio 3 personas por casa, que son de un piso, con 1 baño por domicilio y consumos promedio de 6m³ por semana.

En las gráficas de consumo, cuando el régimen de operación era intermitente, muestra que los máximos valores de flujo registrados, tanto en los micromedidores como en los macros (Fig. 5.5), ocurren en las primeras horas, al inicio de suministro, asumiendo que, es cuando se llena el tinaco o contenedor domiciliario y después es cuando ya empieza el consumo por demanda; también se comporta en los micromedidores, la misma analogía con la presión en los puntos críticos, es decir hay usuarios que durante el periodo de servicio, no alcanzan las mismas condiciones que el resto de los usuarios dentro del sector (Fig. 5.11).

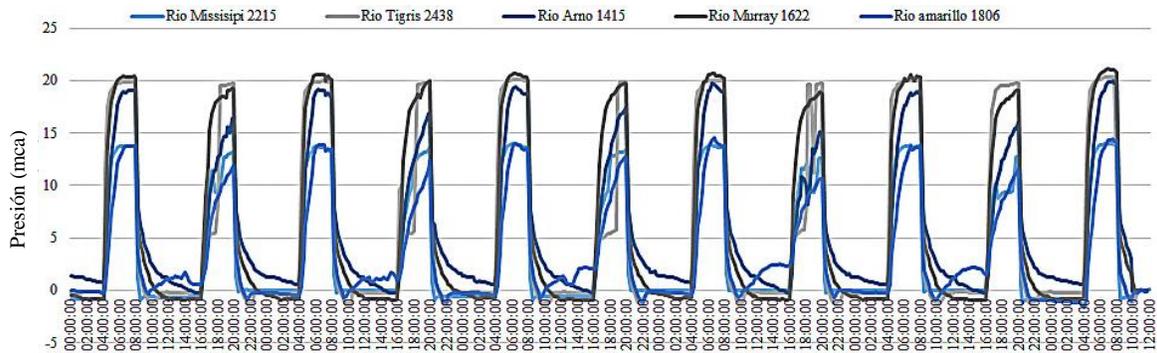


Figura 5.11 | Comparación de presiones de puntos representativos (Mendoza & Navarro 2022).

En cuanto a la cantidad de agua mínima, para que una persona pueda satisfacer sus necesidades básicas, según lo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas y la Organización Mundial para la Salud, es una dotación de 50 a 100 litros por persona por día; en algunos casos se puede considerar 100 a 150 L/hab/día (Kayser L., et al., 2013).

Los niveles aceptables de presión, que se consideran suficientes para la operación de las instalaciones hidrosanitarias domésticas, son del rango de 10mca o 15mca, así mismo se consideran presiones dañinas para las instalaciones, cuyos valores exceden los 25mca. En la siguiente Figura 5.12, se muestra las consideraciones, que a partir del análisis del comportamiento de presiones y gastos en el sector analizado, se han propuestos para la JMAS, con la finalidad de tener una operación que satisfaga las necesidades del usuario y a su vez evite fallas, tanto en la red general como en la de los usuarios.



Figura 5.12 | Niveles de servicio de agua potable en base a presión establecidos por JMAS.



Se calculó la dotación suministrada al sector con servicio intermitente en 150 L/hab/día y una presión entre el rango de 10 mca a 20 mca. Considerando los valores de referencia, se determina, que aun en suministro intermitente, los volúmenes que otorga la dependencia JMAS al usuario, se encuentran en niveles satisfactorios (Fig. 5.12), por lo cual se pudo concretar el objetivo particular No 6 “Identificación de valores de satisfacción de demanda en servicio intermitente”.

Se muestra en resumen, los resultados para el objetivo particular No 7 “Diferenciar cobertura de necesidades en el servicio continuo e intermitente”; el servicio intermitente se representa en la figura 5.13 y el servicio continuo en la figura 5.14.

En el servicio tandeado, a pesar de tener “definido” un ciclo de servicio o bloque, este no se muestra de forma fidedigna o real dentro del sector, es decir se podrá tener la apertura de la VRP y la consigna adecuada, pero el servicio se otorga de forma diferenciada, tanto de forma espacial como temporal.

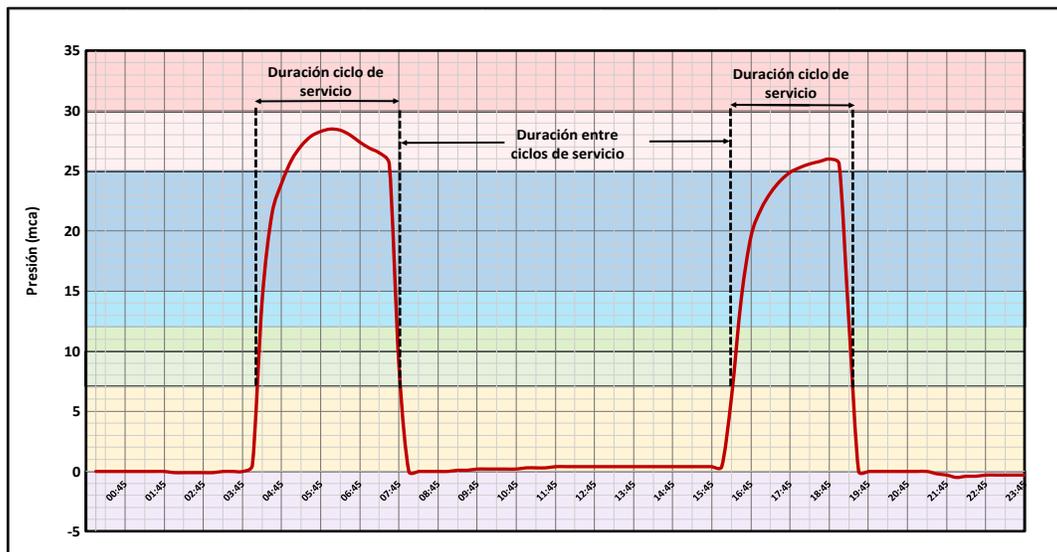


Figura 5.13 Duración de ciclo de servicio con base en presión suministrada de manera intermitente.

En cambio se puede observar que, cuando el suministro es continuo, siempre se encuentra en el nivel de satisfactorio (Fig. 5.14).

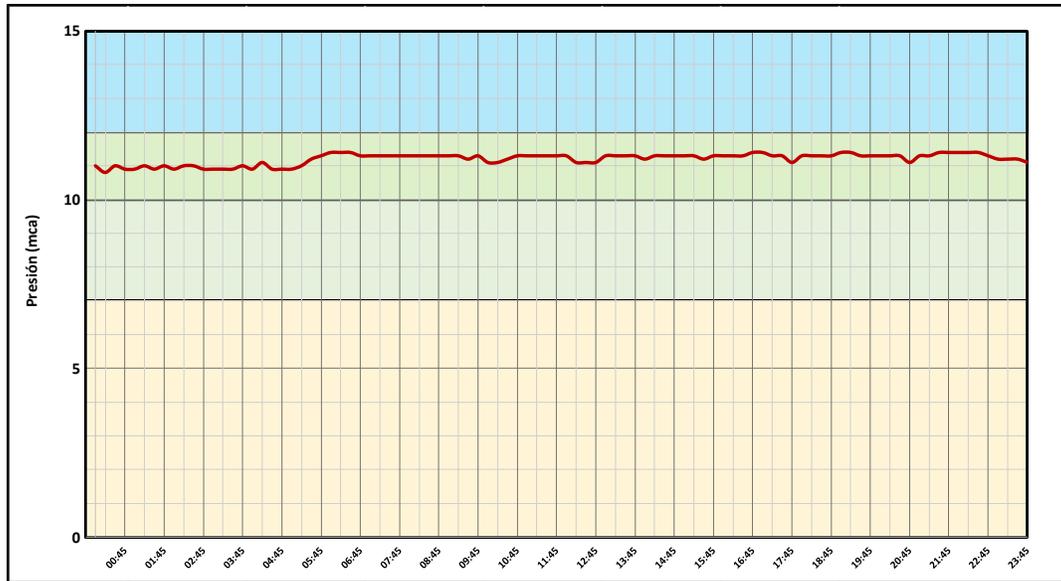


Figura 5.14 | Duración de ciclo de servicio con base en presión suministrada de manera continua.

A la par de la ejecución de la encuesta en los domicilios, como ya se explicó se llevó la colocación de micromedidores inteligentes y registradores de presión. Las figuras 5.15 y 5.16 muestran cómo se registran estas mediciones, en los puntos colocados en los domicilios de los usuarios. Con lo que se concretó el objetivo particular No 8 “Recolectar datos de consumo y presión en domicilios para análisis”.

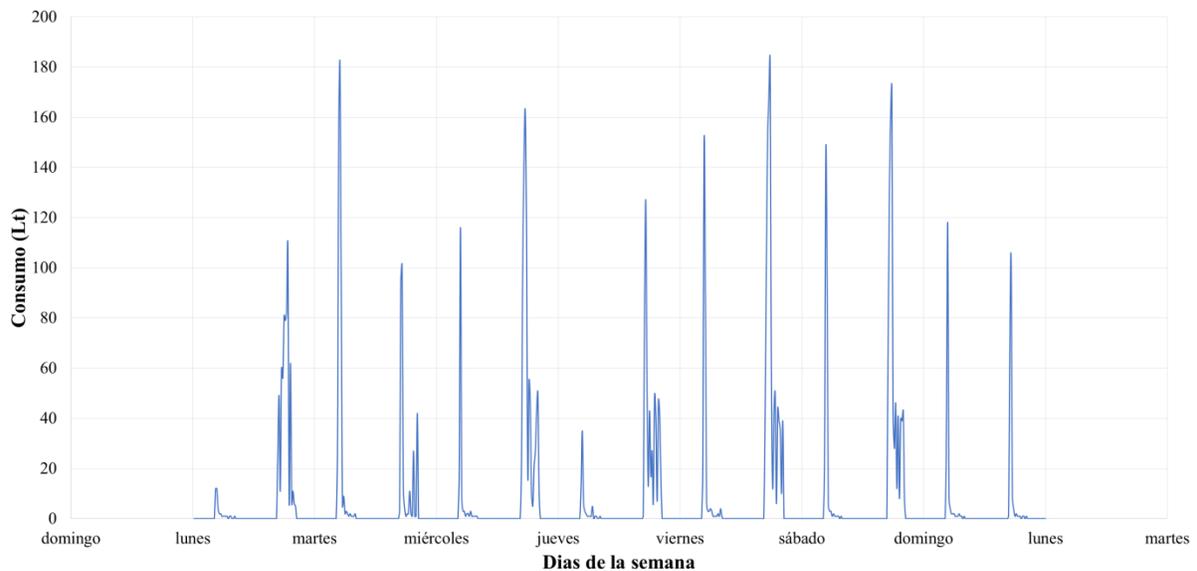


Figure 5.15 | Ejemplo de datos de consumo en punto de medición (Mendoza & Navarro 2022).

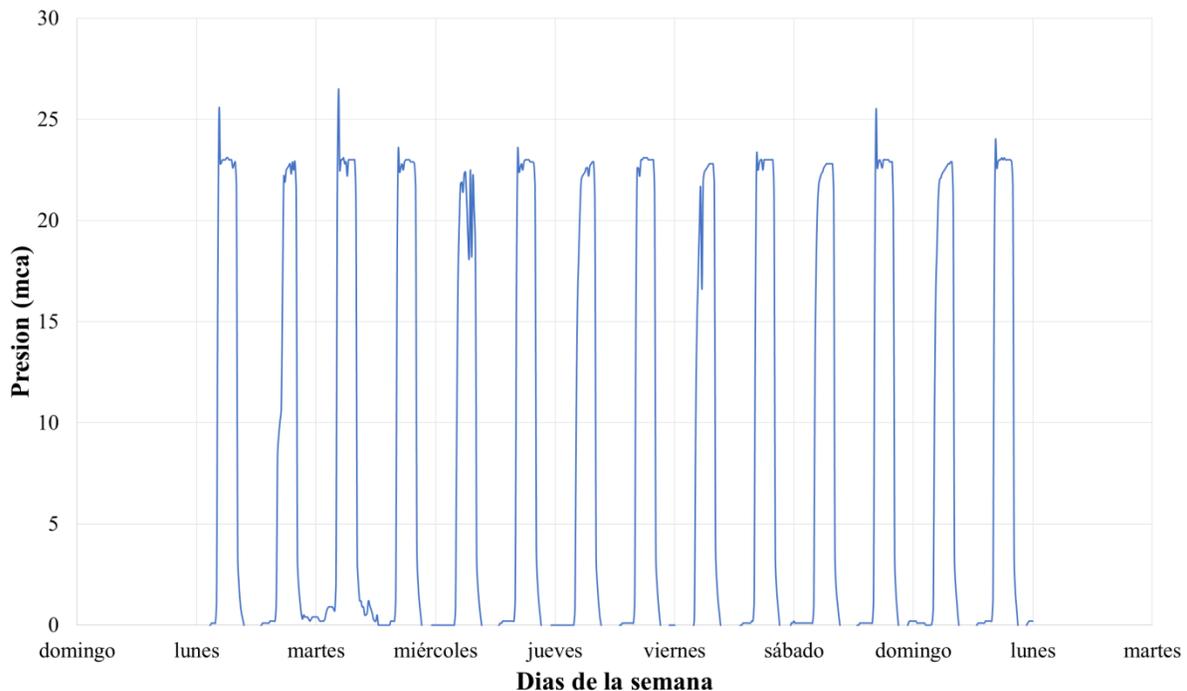


Figure 5.16 | Ejemplo de datos de presión en punto de medición (Mendoza & Navarro 2022).

Se realizó el análisis multivariante, para la obtención del objetivo particular No 9 “Analizar mediante métodos estadísticos multivariados de información recopilada de presión y consumo de agua potable en domicilios de un sector en específico”. Los resultados de este análisis, nos permite obtener las relaciones de forma objetiva, considerando a todos los factores o variables con la misma importancia, la magnitud, dirección y sentido de los vectores propios de cada una de las variables, se muestran de forma visual, lo que nos permite observar las relaciones entre las variables de forma clara (Fig. 5.17). Se agruparon en tres conjuntos las variables, el primero donde se encuentran los factores de: baños, consumo y nivel o pisos de la vivienda, el segundo está integrado por la fecha y presión, y el tercero lo componen el medidor, la marca del medidor, y la clase del medidor. Pero a su vez, se ve que hay relación de forma opuesta entre el conjunto 1 y el 2. Esto significa que el primer conjunto determinar cómo se comporta la presión y que con lógica incide la temporalidad o la estación climatológica.

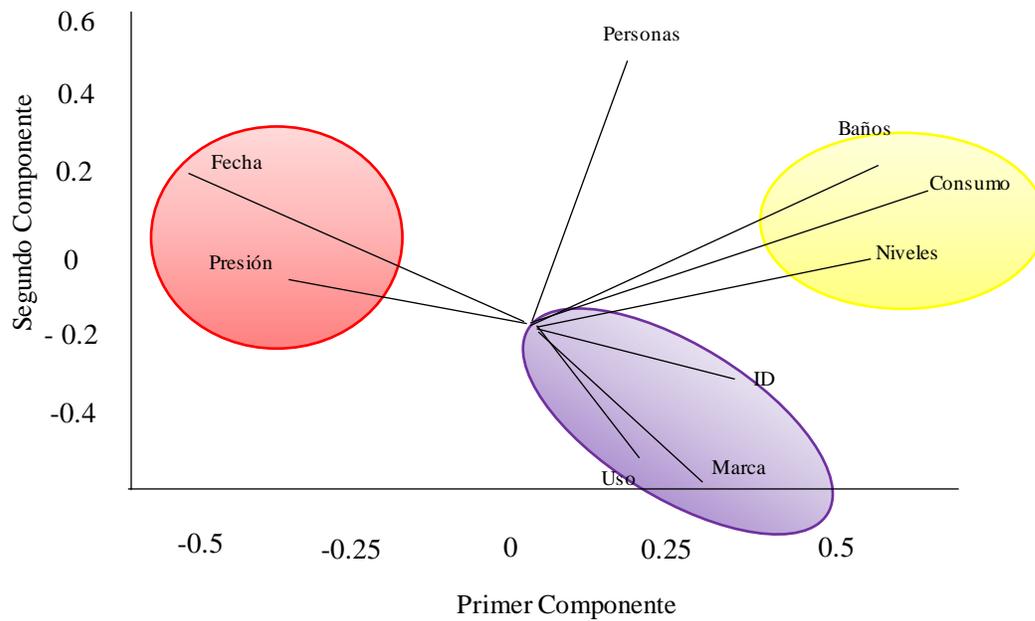


Figura 5.17 | Componentes de Análisis Multivariado (Mendoza & Navarro 2022).

En el tercer artículo de investigación, se describe el proceso para la obtención del objetivo particular No 10 “Aplicar encuestas para identificar características físicas, económicas y sociales de la población”. En las figuras 5.18 y 5.19 muestran en resumen algunos de los resultados obtenidos.



Resultados de encuestas sobre patrones de uso y consumo de agua al usuario						
1. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?						
0-2	3-4	5-6	7 o mas			
19	21	9	0			
2. ¿Dispone de un sistema de almacenamiento de agua potable?						
Tinaco	Cisterna	Cubetas	Ninguno	Otro		
46	0	1	2	0		
3. ¿Considera que la calidad del agua que le llega es adecuada?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
2	1	4	2	40		
4. ¿Qué problemas ha detectado con respecto a la calidad del agua?						
Agua turbia	Color	Sabor	Olor	Solidos	Ninguno	Otros
1	0	3	2	0	42	1
5. ¿Bebe agua directamente del grifo?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
42	1	0	2	4		
6. ¿Considera justo el importe que se le cobra en la factura?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No contesto	
8	9	14	4	13	1	
7. ¿Cuánto agua (m ³) paga regularmente al mes?						
0-100	100-200	200-350	350-500	500-700	700-1000	1000 o mas
1	11	29	7	0	0	1
8. ¿Considera que tiene suficiente presión de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
2	4	3	9	31		
9. ¿Qué problemas ha detectado en relación con la presión del agua?						
Baja presión	alta presión	Baja presión en verano	Alta presión en invierno	Poco tiempo de presión al día	Ninguno	Otros
7	2	1	0	2	36	1
10. ¿Cuántas horas de presión tiene al día?						
0-1	2-3	4-6	6-8	Todo el día		
0	3	11	35	0		
11. ¿Le da mantenimiento a su tinaco o sistema?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
4	2	7	14	22		
12. ¿Su cisterna o tinaco alcanza a llenarse con el agua que le llega de la calle?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica	
5	1	0	6	36	1	
13. ¿Considera que se suministra aire por las tuberías de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
38	5	4	2	0		
14. ¿Compruebas que las lecturas de los medidores de agua coinciden con las que aparecen en las facturas?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
38	2	0	6	3		
15. ¿Comprueba si hay fugas en su medidor de agua?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
0	0	0	2	47		
16. ¿Revisa si hay fugas dentro de la casa?						
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre		
0	0	0	1	48		

Figura 5.18 | Conglomerado de resultados de encuesta estandarizada con valores más altos marcados (parte 1)

(Mendoza et al, 2022).



17. Si se detecta una fuga en las tuberías de agua, ¿se repara rápidamente?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	2	47	
18. ¿Cuál es el sistema de aire acondicionado con el que cuenta en su vivienda?					
Aire acondicionado	Minisplit	Ventilador	Ninguno	Otros	
32	2	12	12	0	
19. ¿Utiliza aire acondicionado?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
24	8	11	6	0	
20. ¿En qué estaciones utiliza el aire acondicionado?					
Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Nunca	
0	25	0	0	24	
21. ¿La factura aumenta cuando se utiliza el aire acondicionado?					
Si				No	
7				42	
22. ¿Hay gente en casa en todo momento?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
4	5	6	11	23	
23. ¿Todos los miembros de la familia utilizan la ducha a diario?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
1	0	11	4	33	
24. ¿Cuánto dura la ducha de cada persona, menos de 10 minutos?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica
2	9	9	4	22	1
25. ¿Riega el jardín?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
27	3	9	3	0	
26. ¿Lava la ropa en la lavadora y/o en el lavadero?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
2	4	23	19	1	
27. ¿Descarga el inodoro inmediatamente después de usarlo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	1	0	48	
28. ¿Se lava las manos inmediatamente después de ir al baño?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
29. ¿Las personas de su casa cierran la llave del agua cuando no la utilizan al lavarse los dientes?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	1	48	
30. ¿Los habitantes de su casa cierran el grifo del agua cuando no la utilizan para lavar los platos?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	1	48	
31. Si las personas de su casa ven un grifo abierto o que gotea, ¿lo cierran?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
32. ¿Evita jugar con el agua del grifo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
0	0	0	0	49	
33. ¿Lava el vehículo con agua del grifo?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	
43	4	2	0	0	
34. Al lavar el vehículo, ¿utiliza menos de 40 litros de agua (2 cubetas)?					
Nunca	Pocas veces	En ocasiones	Muchas veces	Siempre	No aplica
0	1	1	2	2	43

Figura 5.19 | Conglomerado de resultados de encuesta estandarizada con valores más altos marcados (parte 2)

(Mendoza et al, 2022).



Las mediciones de consumo en los domicilios, permite determinar: promedio de consumo semanal y diario, que aunado al promedio de personas viviendo en los domicilios, permite estimar la demanda actual y futura del sector.

La medición de la presión en los domicilios, nos indica la magnitud, tiempo y permanencia de la presión, y con ello determinar cómo es el servicio en el sector y usuario. (Fig. 5.20).

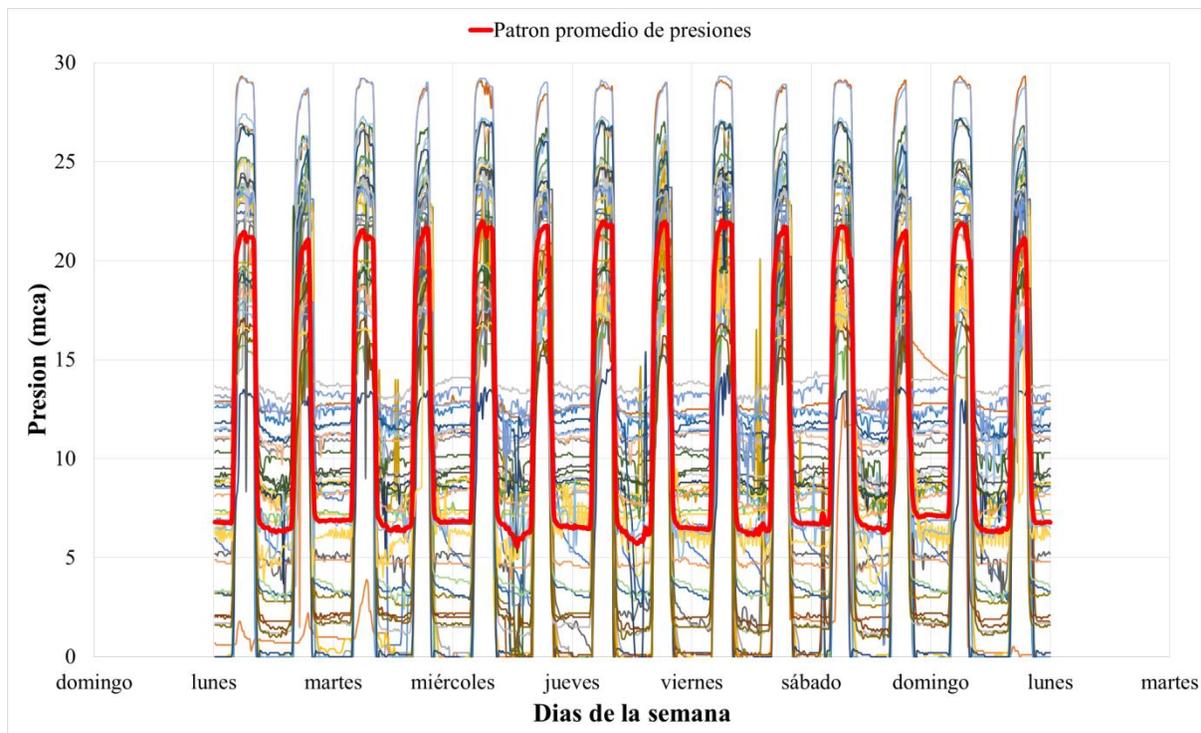


Figura 5.20 | Valores de suministro de presión y línea de promedios en Riberas de Sacramento durante una semana (Mendoza et al, 2022).

La explicación de la obtención de “las variables más importantes que influyen en el patrón de uso y consumo de agua potable de los usuarios” del objetivo particular No 11, se realiza en el artículo No 2, donde se describen la gráfica de sedimentación del análisis multivariante (Fig. 5.21) y la tabla de valores de coeficientes de correlación de los componentes principales (Tabla 5.1). En la figura 5.21 se observa que son 4 los factores más importantes acordes a la gráfica de sedimentación y la tabla 5.1 identifica cuales son estos 4 factores que se relacionan fuerte e íntimamente: fecha o estacionalidad, número de baños en la vivienda, nivel o pisos de vivienda y consumo.

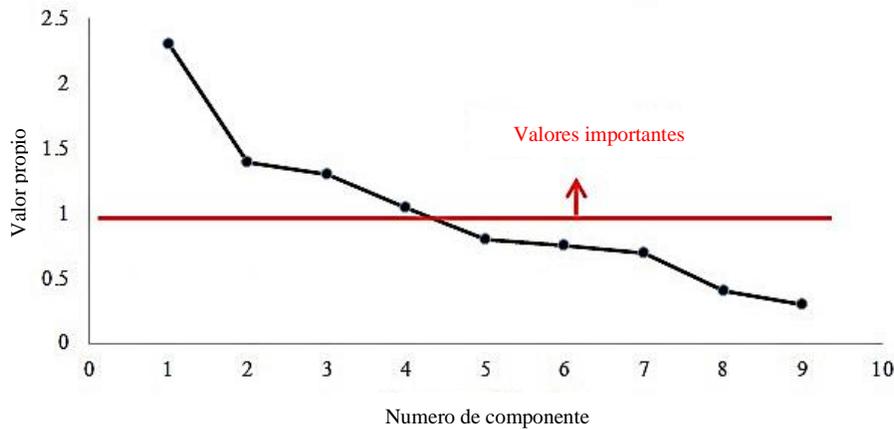


Figura 5.21 | Análisis multivariable de sedimentación (Mendoza et al, 2022).

Tabla 5.1 | Valores de coeficientes de componentes (Mendoza et al, 2022).

Variable	PC 1
Fecha	-0.417
ID	0.182
Baños	0.441
Personas	0.184
Niveles	0.357
Uso	0.264
Marca	0.279
Consumo	0.457
Presión	-0.286

En el objetivo particular No 12 se planteó “Identificar factores que indican patrones de uso de agua entre habitantes de sector a lo largo de un día, una semana o un mes tomando en cuenta la época del año”. Con los datos generados se describen las horas con máximo consumo que son de 4am a 8am y de 4pm a 7pm, los valores máximos de consumo de 75 lt/seg y mínimo de 5 lt/seg, la figura 5.22 muestra el periodo de tiempo registrado generado de una semana completa de lunes a lunes, dentro de los meses de Marzo – Abril, cabe señalar que esta temporada se considera como base para definir el consumo “normal” que tienen los usuarios; en los meses de mayo a agosto este consumo se incrementa un 50%.

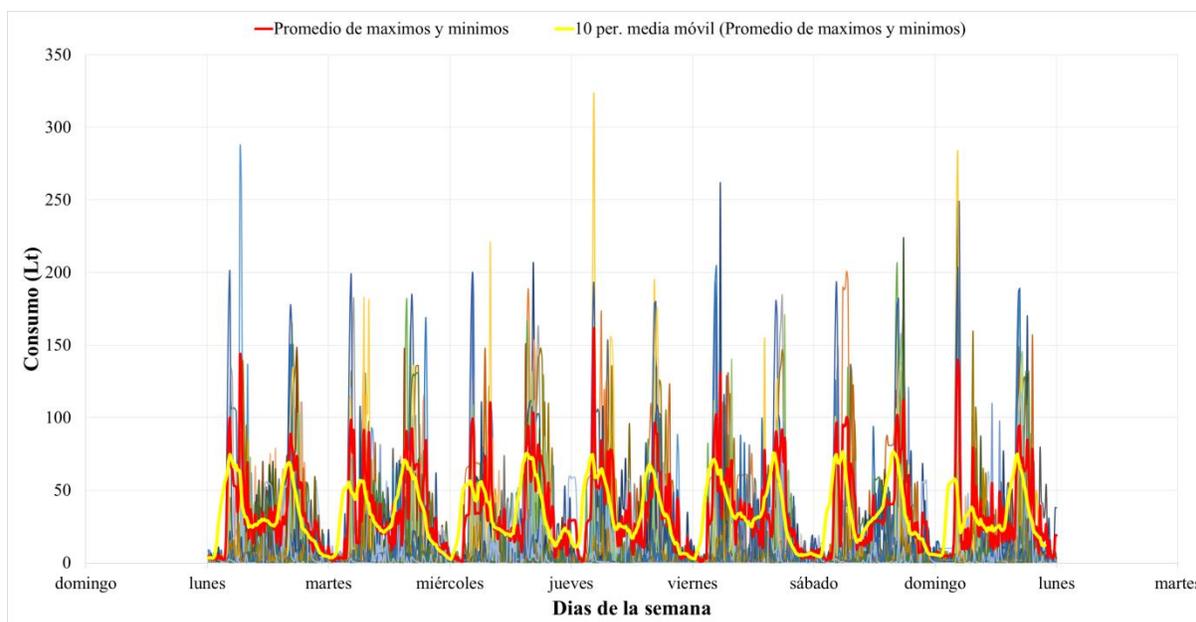


Figura 5.22 | Conglomerado de mediciones de consumo en domicilios y la media móvil representando el patrón de consumo en Riberas de Sacramento (Mendoza et al, 2022).

Las encuestas brindaron información del valor de apreciación del servicio suministrado por los usuarios a través de la dependencia gubernamental y este valor se vio contrastado con el uso que se le da al mismo insumo como lo es el agua por parte de los usuarios en sus labores diarias y su cuidado para evitar el desperdicio (Figuras 5.18 y 5.19), con esto se cumple objetivo particular No 13 “Identificar la conciencia social del valor del servicio de agua potable y el interés de los usuarios por cuidarla”.

El comportamiento de los usuarios encuestados respecto al cuidado del agua y sus instalaciones refleja el grado de aceptación que tienen por el servicio que se les suministra y la calidad que perciben como producto entregado. Es decir, usuarios que si revisan fugas en su medidor y las solicitan reparar en caso de existir, son los que manejan de manera responsable el agua en sus domicilios para diversas actividades y concuerdan en un valor justo de cobro para ellos. Cabe señalar que en su mayoría piensan lo mismo y tienen una percepción de satisfacción con el servicio pero sigue habiendo un malestar en la cuestión de ser brindado servicio de manera intermitente, aunque se le haya cambiado a operación continua, lo que significa que el usuario no conoce realmente cuando tiene el servicio.



Obteniendo graficas de valores de consumo individuales por domicilio inspeccionado con micromedidores ultrasónicos y registradores de presión de precisión, así es como se realizó la caracterización de las condiciones de suministro y consumo actual del servicio en el sector Riberas de Sacramento.

La comparación de graficas de consumo de todos los valores recopilados por semana, permitió la búsqueda de un patrón de consumo que se reflejó en la gráfica de todos los valores obtenidos mediante una media móvil de 10 periodos (Fig. 5.23), la cual se compara con valores de presión detectados en la zona y así se obtiene el patrón de servicio que se requiere y satisfaga la demanda del usuario, independientemente si es suministro intermitente o continuo.

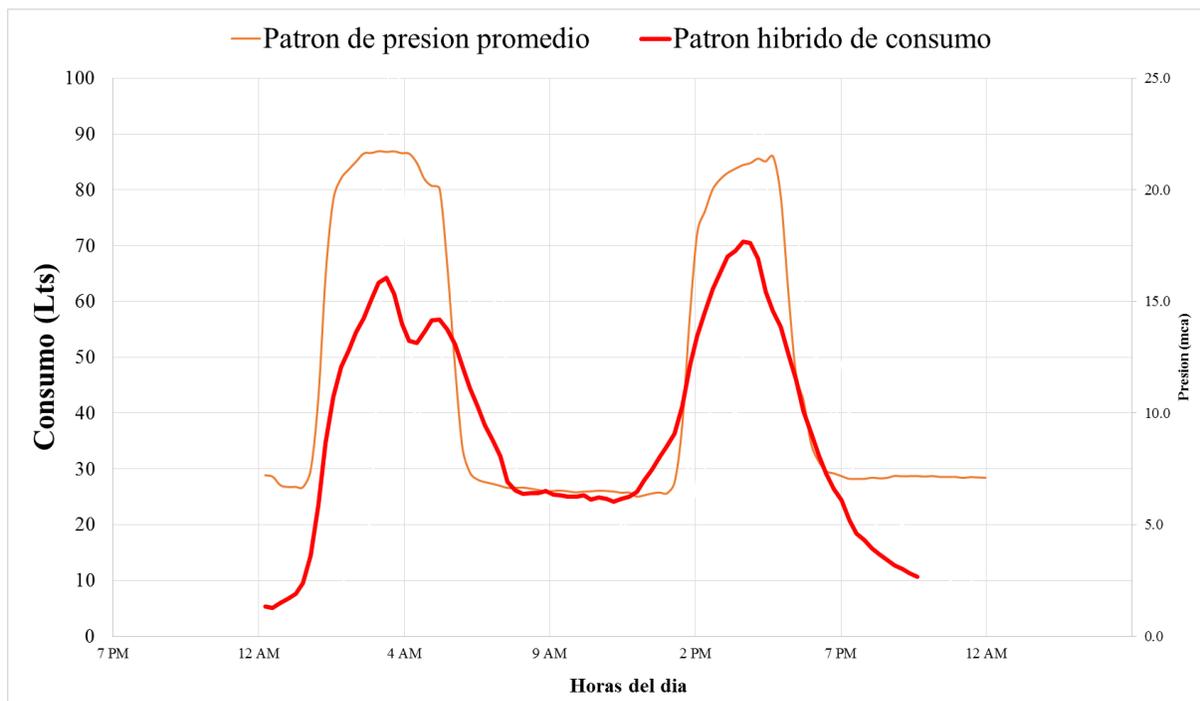


Figura 5.23 | Promedio de presión y Factor de Demanda de un día en sector Riberas de Sacramento

(Mendoza et al, 2022).

Esto permitió determinar, de acuerdo a la definición realizada el PHD (Patrón Híbrido de Demanda). Al utilizar este patrón como base de la propuesta de modelo de gestión es como se culmina la satisfacción de objetivo particular No 14 “Proponer un modelo de gestión en base al patrón híbrido de demanda” y el objeto del trabajo de tesis.



El modelo de gestión propuesto, depende de las condiciones no solo del sector seleccionado, sino también de los requerimientos aguas abajo del sector, dado que este sector se encuentra en la parte inicial del suministro de agua a la ciudad, en el sistema del acueducto el Sauz, por lo tanto; hay fases que pueden ocurrir en este modelo de gestión son:

- a) La primera fase cuando el sector de suministro intermitente (SIA) pasa a operarse a un suministro continuo optimizado con gestión de presiones (SCO-GP) (Fig. 5.24).

Suministro SIA a SCO-GP

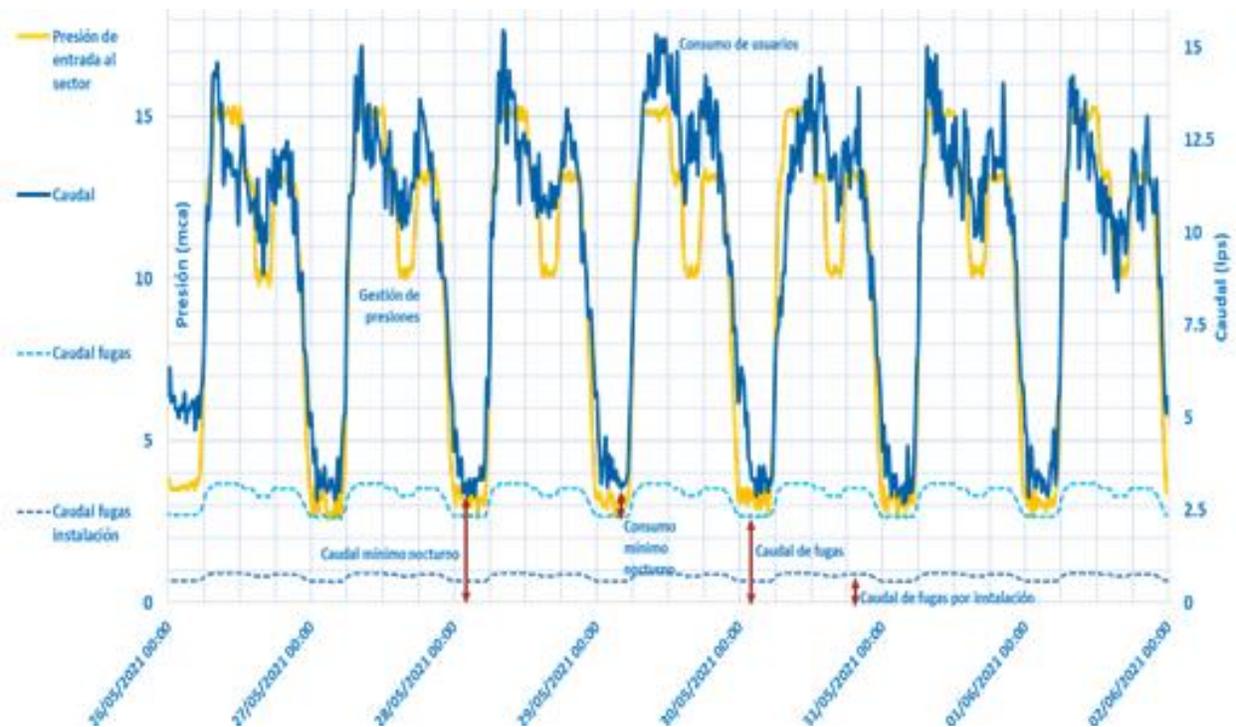


Figura 5.24 | Registro de Caudal y Presión de sector suministrado con suministro continuo optimizado con gestión de presiones.

En esta fase se puede observar que se puede determinar el volumen requerido por el sector, así como el caudal mínimo nocturno base, este donde ya no es posible bajarlo mediante gestión de presiones y requiere la búsqueda de fugas no visibles.



b) La segunda fase es donde por necesidades de los sectores o tanques de almacenamiento y regulación aguas debajo de este sector, se requiera limitar el servicio de forma temporal. Esto podría ser como, se hacía antes sin considerar el patrón de comportamiento de la presión y la forma de tránsito del flujo en la (fig. 5.25) red o considerando ya las condiciones aprendidas de los requerimientos de magnitud y permanencia en tiempo de presión en zonas del sector, para la satisfacción de la demanda del usuario, así como para que sea la menor cantidad de volumen de agua requerida para el desplazamiento del aire atrapado en las tuberías, esto mediante la forma de apertura controlada y en pasos de la VRP (fig. 5.26).

Las figuras 5.25 y 5.26 muestran cómo es un suministro intermitente sin control y con control, las líneas azul, verde y rojo, son el comportamiento y tiempo de permanencia de la presión dentro del sector (3 puntos críticos), en la figura 5.25, es un suministro intermitente sin control, que a pesar, que los bloques de apertura de la VRP son iguales mañana y tarde, no se ve reflejada la presión de la misma manera. En la figura 5.26 se muestra un suministro intermitente controlado con gestión de presiones, donde ya se considera lo aprendido de la forma de tránsito del agua y el comportamiento de la presión en la red, para la satisfacción de las necesidades del usuario.

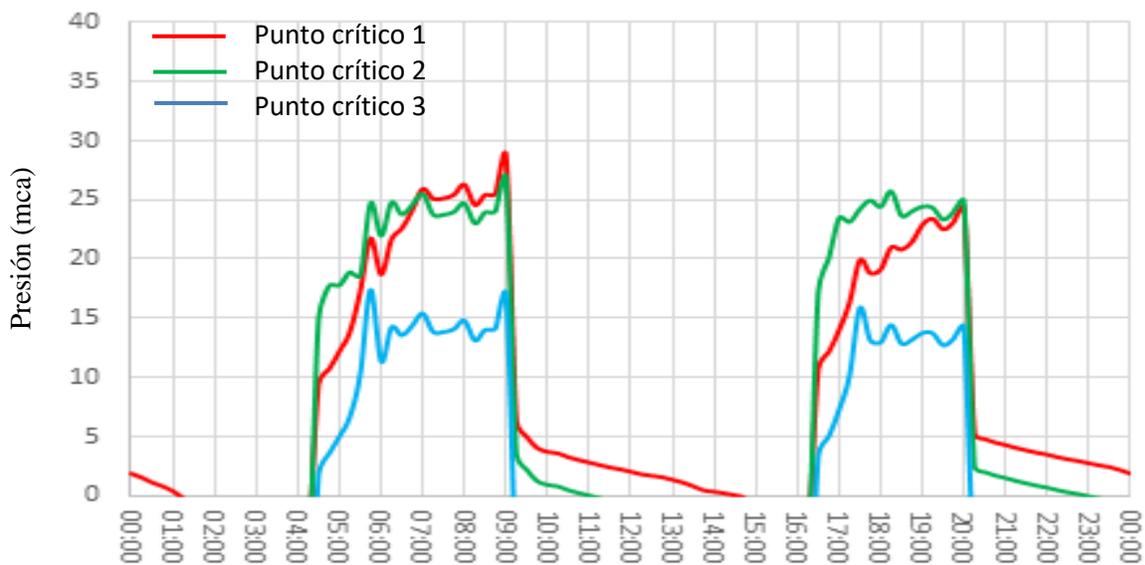


Figura 5.25 | Comportamiento diario sin control de presión.

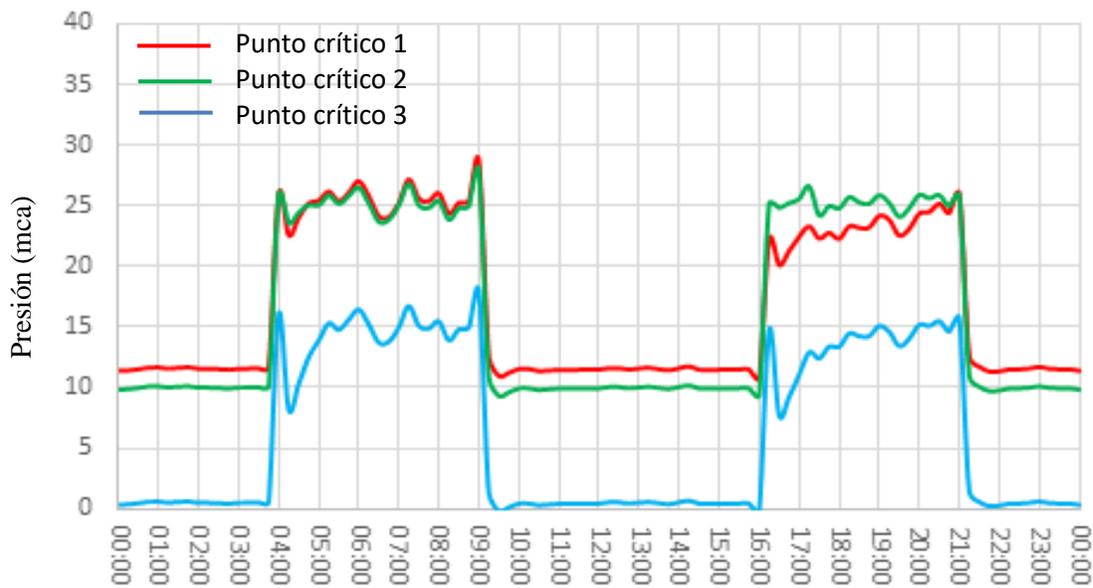


Figura 5.26 | Comportamiento diario con control de presión.

Entonces el PHD, que se recomienda como modelo de gestión de operación en el sector, es aquel comportamiento que considera las condiciones mínimas requeridas para la satisfacción de las necesidades del usuario en un tiempo determinado por el horario de servicio establecido por el operario, basado en el intervalo de tiempo que debe permanecer la presión y la magnitud de esta, así como la distribución en forma espacial de este indicador (presión), para tener un mejor manejo y control del fallamiento de las redes.

Es decir, que el modelo de gestión dependerá de la operación requerida en el sector por condiciones externas a este, y que puede oscilar entre un suministro intermitente y uno continuo en épocas del año, asumiendo que es “fácil” tener este cambio, ya que se conoce cuáles son los volúmenes requeridos en ambos casos, los cuales son diferentes; sin embargo la presión en las instalaciones del usuario no deben variar con la distinta operación, deben tener las presiones que se han establecido como suficientes en magnitud y tiempo de permanencia, para la satisfacción de los requerimientos domésticas.



Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas con la realización de este trabajo y se proponen algunas líneas de investigación futuras que pueden servir de ayuda hacia la mejora del suministro de agua potable a la población tanto de la zona en estudio o cualquier otra población de estudio similar o de diferentes características y así dar continuidad al trabajo desarrollado.

El principal problema del suministro eficiente de agua a la población, es que no se entrega de una manera continua y ello involucra que las personas tengan que adquirir contenedores de agua, como tinacos o cisternas para poder almacenar agua en los momentos que, es suministrada a la población por la dependencia encargada de su administración, así las personas podrán hacer uso del agua a cualquier hora del día que les sea necesario. Además de esto, el suministro de agua se entrega con una presión variable entre zonas, con rangos elevados que ocasionan rupturas en la red y zonas con rangos bajos, que limitan la capacidad de aprovechamiento del agua. Importante también que el tiempo que se les brinda el suministro, es en general insuficiente para satisfacer las necesidades básicas de los usuarios.

Complementario a esto se tiene que, actualmente los procesos administrativos de proyectos de suministro de agua potable a diversas colonias nuevas o existentes de las ciudades, se lleva a cabo considerando que tendrán un suministro continuo, como una teoría fundamental a pesar de que en la realidad no se llevara a cabo. Es así que se presentan en la realidad fallas en el suministro, ya que en la práctica cotidiana se tienen que hacer una serie de pruebas para acoplar el sistema continuo a una manera intermitente, que es como actualmente se suministra el servicio en la zona debido a diversos factores.

Es importante entender que hay una gran diversidad de conjuntos sociales que poseen diferentes características físicas, económicas y sociales que influyen en sus patrones de consumo y si a esto se adiciona que pueden tener un servicio suministrado intermitentemente, es así que se incrementa aún más la variabilidad de tipos de población que poseen un modelo peculiar de



consumo que hay que investigar y analizar para poder proponer un modelo de gestión que contemple esas variables.

Por este motivo, este trabajo se enfocó en la caracterización de los métodos de consumo real de la una población en estudio mediante una revisión general de las características generales de la población y con ello identificar (mediante un diseño de experimento) los sectores representativos de la población y los mínimos puntos necesarios de medición para obtener una muestra característica que refleje las condiciones generales del total de personas en estudio y realizar levantamiento de datos de presión y consumo de agua potable de los usuarios, así como investigación de condiciones y características particulares del conjunto de personas que son objeto de estudio para la determinación de patrones que ayudaran a identificar y modelar mejor su consumo.

En esta tesis se utilizó la técnica de muestreo y aceptación Military Standard (MIL-STD) 105E ya que permite obtener una muestra representativa de una manera muy practica y solo siguiendo unos pocos pasos que dependerán del nivel de aceptación deseado. Después, para la recolección de datos de consumo se han utilizado medidores ultrasónicos de pulsos que permiten la recolección de datos de manera extendida para un análisis más completo, así también para la recolección de datos de presión se han utilizado registradores Multilog 2 que son fáciles de instalar y recolectar información necesaria para análisis.

La base fundamental de análisis de esta investigación se basa en información estadística comparativa y grafica que se apoya más a profundidad con software especializado en la materia de marca Minitab para el análisis multivariable que denota las variables preponderantes en el uso del agua potable según las características particulares de la población.

Este trabajo inicia el diseño de una metodología para caracterizar el patrón de demanda híbrido en una red en transición de un suministro de agua intermitente a uno continuo. El caso de estudio utilizado para probar este modelo fue uno de los principales sectores de la ciudad de Chihuahua, Riberas de Sacramento, con especialización en uno de los cuatro subsectores operados por el organismo encargado (JMAS).



Esta investigación detectó el impacto del cambio en el suministro de agua. Se pudo observar un incremento en ciertos problemas como las fugas en las tuberías, pero la teoría marca que con el cambio de flujo a continuo, la ocurrencia de fugas debe reducirse, por lo que se espera que los datos recabados apoyen esto en el futuro. También hubo un aumento de las faltas de agua el primer año del cambio a SCA, pero al año siguiente empezaron a disminuir, lo que puede significar que el SCA está empezando a establecerse. Refleja cómo se está produciendo la transición y los efectos que provoca para llegar al establecimiento de un flujo continuo completo.

En este trabajo se encontró un aumento del consumo de los usuarios al comenzar el SCA, que se muestra en la Tabla 2.2. Este aumento de consumo podría estar asociado a una razón cultural de exceso de consumo, ya que los habitantes de la RDS no estaban acostumbrados a tener el servicio de agua durante todo el día y dejan el grifo del fregadero abierto, por ejemplo, hasta que llega la factura del agua. El aumento de la factura del agua les hace reaccionar y entonces aparece una cultura de conservación del agua. Eso probablemente llevará un año de asimilación, pero mientras tanto tienen el beneficio del servicio de agua durante todo el día.

La transición propicia el mejoramiento, pero cada organización tiene que saber qué tipo de problemas hay que superar para ofrecer un mejor servicio de agua potable. Los problemas son el aumento de las fugas en las tuberías y los informes de escasez de agua durante algún tiempo hasta la estabilización a un flujo continuo, donde ambos factores deberían bajar.

Tras un análisis hidráulico, social, demográfico, topográfico y de consumo del subsector 3, este trabajo identificó una serie de usuarios de los que se medirá el consumo y la presión del agua y se conglomerará para realizar una revisión general del grupo, así como una revisión del servicio de abastecimiento de agua potable en función de su entrada principal de suministro.

El análisis de la información sobre las características de la vivienda de los usuarios se determinó gracias a una encuesta de diseño propio, lo cual se considera una gran aportación ya que pieza fundamental para detectar variables que caracterizan el uso del agua potable y reflejo de importantes tendencias en el comportamiento futuro del sector. La gran mayoría de los usuarios encuestados se clasifican como: familia de tres miembros, casa de una planta. No tienen medidor



y se conectan a la red con una manguera. Esto es representativo del sector. El consumo de estos usuarios se reflejará en el análisis global de la información de consumo.

El análisis multivariado del consumo de la población objetivo indicó que había una relación opuesta entre la presión y el consumo. Es decir, la presión del caudal no afectaba al consumo, ni una mayor presión aumentaba el consumo. Como la presión y el consumo se encontraban en lados opuestos del gráfico de componentes; se supone que en este estudio lo que más refleja la cantidad de consumo de los usuarios son características como el número de baños y el número de pisos de la casa. Cuando el servicio es intermitente la presión en la red permite en primera instancia el llenado de tuberías y almacenamientos, para posteriormente brindar una cantidad de suministro necesaria para solventar actividades mínimas indispensables de los usuarios.

Otra observación importante es la relación directa entre el consumo y el número de inodoros de la vivienda. El número de usuarios similares refleja una tendencia que puede considerarse un patrón a la hora de normalizar su consumo a un valor medio detectado. La correlación entre variables dio lugar a varios gráficos con un resultado común entre los valores de consumo y las condiciones de vida por localización estratigráfica según la clasificación realizada. Mediante el análisis estratigráfico previo, base de esta investigación, se pudo encontrar una muestra uniformemente distribuida que refleja el comportamiento general del sector. El estudio evidencia el patrón y la magnitud de los datos de consumo, previamente registrados en el equipo, subclasificados por las características de las personas que viven en el lugar: habitantes de la casa, tamaño de la vivienda, número de baños y el tipo de medidor instalado en el registro. No tener medidor es una característica peculiar que define el consumo no discriminado.

Es difícil establecer, a partir de los resultados de esta investigación, el tiempo exacto en el que el suministro se comporta de forma continua y no intermitente. Sólo se puede decir que, gracias al análisis multivariado de los datos de consumo y su correlación con las características particulares de los usuarios, se tiene la certeza de que la zona de estudio tenía un suministro no permanente debido a las variaciones de caudal.



Esta modalidad obligó a los usuarios a desarrollar prácticas de consumo, incluyendo el almacenamiento en tanques de agua y cisternas, y a reducir el consumo durante las horas en que las válvulas de suministro están cerradas. Un factor importante a considerar es la detección del impacto generado por el constante llenado de los tanques de almacenamiento individuales que afecta al tiempo que tarda la red en restablecer un flujo continuo de agua.

Es importante recopilar esta información para futuros análisis en sectores con características diferentes que permitan identificar patrones de consumo en otra zona, como esto identificar la capacidad de adaptación del modelo de gestión a otra zona de la ciudad, a partir de un análisis multivariado de las características específicas de los usuarios ya detectados y de su consumo real. La intermitencia en el suministro de agua afecta invariablemente al patrón de consumo del usuario en el horario que se está discutiendo, ya que le obliga a utilizar un mínimo tiempo para llenar el depósito que se utiliza como reserva de agua durante las horas del día en que no se suministra agua.

La comparación del cálculo del suministro diario a partir de las mediciones particulares de los usuarios en estudio y el consumo real de todos los usuarios del sector, nos da una similitud que anima a extrapolar favorablemente el estudio a otra región o sector y a generar datos fiables para la previsión de la demanda futura en función del crecimiento de la población. Este resultado no se aproxima al estándar de valores actuales, facturados por el consumo en el sector, del organismo regulador del servicio de agua potable y difiere de lo considerado en la literatura para sectores con características similares y dotaciones medias de agua propuestas en el país. Es decir, la dotación de agua para cada comunidad en particular debe basarse en un análisis previo como el realizado en esta investigación para ser más realista.

Esta investigación parte de la mano con la modificación de los sistemas de abastecimiento de la ciudad de Chihuahua por la JMAS, ya que en el transcurso del cambio de suministro intermitente a continuo y su posterior adecuación a intermitente controlado, es que se fueron llevando a cabo las revisiones de datos para cada etapa y con ello su representación que brindaron una información más completa de las características de presión y demanda satisfecha en el sector



con los diferentes modelos. El recopilado de registros de medición de caudal y presión durante este transcurso de tiempo permitió así detallar las condiciones de suministro real y la concepción de la satisfacción de la demanda en cada caso que podría definirse como variable respecto a la modalidad de gestión de la red por parte del organismo operador. Esto es que mientras un suministro continuo tiene la capacidad de mantener una presión constante adecuada durante todo el día y la demanda la rigen las necesidades del usuario a lo largo del día, un suministro intermitente produce que las personas se tengan que adecuar a las horas en que el operario permite el suministro de agua a la red y así llegue a las casa para llenado de tinacos y posterior uso en necesidades básicas de usuarios, pero un suministro intermitente controlado permite prolongar un poco más ese tiempo de permanencia y satisfacción de necesidades de los usuarios y aun mejor un suministro controlado con gestión de presiones que permite restringir el flujo en horarios donde se encuentra principalmente alimentando a las fugas de la red, la demanda es mínima por parte de los usuarios y beneficia los momentos de trasvase de agua del organismo operador hacia otras zonas de la ciudad donde requieren de una cierta cantidad de agua proveniente de fuentes aguas arriba para solventar la demanda posterior al trasvase de agua.

La investigación muestra las diferentes percepciones del servicio de agua potable prestado a la población, que en general es buena ya que los resultados muestran una correcta satisfacción con la calidad del agua suministrada, una presión considerada suficiente, poco o nada de aire en el suministro de agua, un adecuado cobro del servicio y un correcto cuidado del uso del agua potable evitando en lo posible el desperdicio de la misma.

Es importante, luego de percibir las observaciones de los usuarios del sector, analizar los datos de consumo y presión disponibles en la red de abastecimiento para poder definir el comportamiento futuro y tomarlo como base para posibles sectores con características similares.

En este caso de RDS se pudo detectar con las mediciones realizadas y luego del procesamiento y análisis de promedios y promedios móviles en 10 períodos de tiempo, que el sector tiene un abastecimiento intermitente controlado, ya que la red de abastecimiento se modula paulatinamente con variación en tiempo de VRP del sector para obtener una mejor presurización



de la red de distribución de agua para evitar roturas de cañerías por fatiga. Además, algunos usuarios de las zonas bajas tienen la posibilidad de seguir tomando agua de la red, aunque en menor cantidad debido a la menor presión suministrada.

Combinando los valores obtenidos de las mediciones de consumo y presión se obtienen los patrones de presión y consumo medios, con los que se calcula una media móvil de 10 periodos para obtener un gráfico más estilizado del factor de demanda de la población para correlacionarlo con la presión actual suministrada. De esta forma se obtiene un factor de demanda que satisfaga la demanda del sector analizado en cuanto a tiempo de abastecimiento, presión suministrada y capacidad de solvencia de necesidad diarias de los usuarios.

Una propuesta de modelo de gestión del abastecimiento de agua potable a un sector determinado permite brindar un suministro que satisfaga la demanda a una presión estable y suficiente que permita el uso normal de las instalaciones hidrosanitarias del hogar, esto mediante un análisis del patrón híbrido de demanda que determina el consumo promedio a lo largo del día por la variación en la apertura del caudal para que llegue a los hogares y satisfaga las necesidades de los usuarios en diversos escenarios.

Actualmente no existe un estudio similar que pueda servir de base de referencia para poder comparar el conocimiento de satisfacción de la demanda del usuario en suministro intermitente o en transición a controlado, por lo que esta investigación se puede tomar como referente para posteriores investigaciones en cuanto al patrón de demanda del usuario.



Líneas de investigación futuras.

Con el desarrollo de este trabajo surgen desarrollos futuros interesantes con el fin de complementar la idea general de la obtención de un modelo de gestión híbrido de agua potable que ayude en la toma de decisiones adecuadas basadas en estudios realistas que servirán como punto de partida hacia la obtención de sistemas inteligentes para la gestión del suministro de agua potable. Así, algunos puntos particulares son los siguientes:

- Desarrollo de investigación de iguales consideraciones pero en sector con servicio continuo desde inicios de su establecimiento en la ciudad de Chihuahua.
- Desarrollo de investigación de iguales consideraciones pero en sector con condiciones físicas, económicas y sociales diferentes dentro de la ciudad de Chihuahua para comparar resultados y comprobar que idea general de modelo de gestión híbrido se acopla a una infinidad de posibilidades.
- Desarrollo de investigación de iguales consideraciones pero en sector con condiciones físicas, económicas y sociales diferentes dentro del estado de Chihuahua para comparar resultados y comprobar que idea general de modelo de gestión híbrido se acopla a una infinidad de posibilidades.
- Desarrollo de investigación de iguales consideraciones pero en sector con condiciones físicas, económicas y sociales diferentes en alguna ciudad de otro estado dentro del país de México para comparar resultados y comprobar que idea general de modelo de gestión híbrido se acopla a una infinidad de posibilidades.
- Desarrollo de investigación de iguales consideraciones pero en sector con condiciones físicas, económicas y sociales diferentes en alguna otra ciudad de otro país diferente a México para comparar resultados y comprobar que idea general de modelo de gestión híbrido se acopla a una infinidad de posibilidades.
- Desarrollar algoritmos y software de análisis de información de datos de consumo y presión para obtener de manera automática factor de demanda, consumo promedio y requerimientos hidráulicos de sector en estudio.



- Desarrollo de mejoras en encuestas estandarizadas que amplíen el conocimiento más específico a factores puntuales como el uso específico del agua en diversas labores diarias a determinadas horas y con cierta recurrencia que sea identificable por el usuario y con esto ayude a la identificación posterior de concordancia de estos usos con el modelo de gestión propuesto.
- Investigación de iguales consideraciones pero utilizando medidores de gasto y registradores de presión de diferente marca para comparar valores obtenidos y corroborar resultados que brindan una información base para el posterior análisis.
- Realización a profundidad de proceso de entrevista al usuario en el que se aplican encuestas estandarizadas que serán fundamentales para detectar rasgos característicos de la población en estudio, esto con el fin de incomodar lo menos posible a las personas y dar la apariencia de ser atractivo para la vida futura de la población.
- Desarrollar modelo matemático que represente la obtención de patrón híbrido de demanda obtenido después del análisis presentado en esta investigación mediante la introducción de valores numéricos a cada una de las variables detectadas.
- Investigación futura del impacto negativo y positivo en la población respecto al cambio de suministro de intermitente a continuo con su correspondiente transición y una propuesta de solventarlo.



Contribuciones propias.

Aportación.

Propuesta de Modelo de Gestión de una red de distribución cerrada de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda.

Artículos.

Carlos David Mendoza Garcia and Carmen Julia Navarro Gómez, Analysis of hybrid demand pattern on a water distribution network with transition from intermittent to continuous water supply in Riberas de Sacramento, Chihuahua. *Water Practice and Technology* Vol 15.1, pag 213 – 224, 2020.

Carlos David Mendoza Garcia and Carmen Julia Navarro Gómez, Study of domestic water consumption in intermittent supply of the Riberas de Sacramento sector in Chihuahua, México. *Water Supply* Vol 22.4, pag 4728 – 4743, 2022.

Carlos David Mendoza Garcia, Carmen Julia Navarro Gómez and Arnoldo Valencia Cortez, Drinking water consumption habits during intermittent service in Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, México. Submission in production. *Water Practice and Technology*

Congresos.

Carlos David Mendoza Garcia, Modelo de gestión de una red de distribución de agua potable en régimen no permanente considerando el patrón híbrido de demanda. “Exposición de posters 2019”, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería, 17 de mayo 2019.

Carlos David Mendoza Garcia, Analysis of the hybrid demand pattern on a water distribution network with intermittent supply. IWA Water Loss Congress “Smart solutions for water losses”, Shenzhen, China, November 9-11 2020.

Carlos David Mendoza Garcia, Análisis del consumo de agua doméstica en la transición del suministro intermitente al continuo en México. XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2021, Virtual, 15 a 19 de noviembre 2019.



Referencias

- [Agathokelous, A., Chistodoulou, A. 2016. El impacto de las políticas de suministro intermitente de agua en las redes urbanas de distribución de agua [The impact of intermittent water supply policies on urban water distribution networks]. Science Direct – Procedia Engineering.]
- [Alcocer, V. 2007. Flujo estocástico y transporte en redes de distribución de agua potable [Stochastic Flow and Transport in Drinking Water Distribution Networks]. Doctoral dissertation. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2101/alcoceryaalcoce.pdf?sequence=1>.]
- [Alcocer, V. H., Tzatchkov, V. G. & Arreguín, C. F. I. 2012. Modelización de redes de agua potable mediante demanda estocástica [Modeling of drinking water networks using stochastic demand]. Water Resources Management 26 (7), 1779–1792. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9979-2>]
- [Alvisi, S., Franchini, M., Marinelli, A. Marzo 2003. Un modelo estocástico para representar la demanda de agua potable a nivel residencial [A Stochastic Model for Representing Drinking Water Demand at Residential Level]. Water Resources Management.]
- [Andey, S. P. & Kelkar, P. S. 2009. Influencia de los modos intermitente y continuo de suministro de agua en el consumo doméstico de agua [Influence of intermittent and continuous modes of water supply on domestic water consumption]. Water Resources Management 23, 2555–2566. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9396-8>]
- [Arreguin, F., Alcocer, V. & Hernández, D. 2010. Modelación de redes de agua potable con enfoques determinísticos y estocásticos [Modeling of drinking water networks with deterministic and stochastic approaches]. Tecnología y ciencias del agua [Technology and Water Science]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n4/v1n4a7.pdf>.]
- [Bartholomew, D. 2010. Análisis de componentes principales [Principal Components Analysis]. International Encyclopedia of Education, 3rd edn. Elsevier, pp. 374–377. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01358-0>]
- [Blanchet, Alain. 2021. Técnicas de investigación en ciencias sociales: datos, observación, entrevista, cuestionario [Social science research techniques: data, observation, interview, questionnaire] SERBIULA (Librum System 2.0).]
- [Bon, H. 2017. Flujo no Permanente en Redes de Distribución de Agua Potable [Non-Permanent Flow in Drinking Water Distribution Networks]. doi:132.248.9.41:8880/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000755412]
- [Cabrera, J. A., Tzatchkov, V. G. Junio 2012. Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente [Modeling water distribution networks with intermittent water Supply]. Tecnología y ciencias del agua. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000200001
- [Campos Aranda, 1984. Procesos del ciclo hidrológico. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.]



- [Christodoulou, S. & Agathokleous, A. 2012. Estudio sobre los efectos del suministro intermitente de agua en la vulnerabilidad de las redes urbanas de distribución de agua [A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks]. *Water Supply* 12 (4), 523–530. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/ws.2012.025>]
- [CONAGUA 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento [Drinking Water, Sewerage and Sanitation Manual]. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.]
- [CONEVAL 2015. Mapas interactivos de AGEB en localidades de 100mil o más habitantes por entidad federativa. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [AGEB Interactive Maps in Locations of 100 Thousand or More Inhabitants Per Federative Entity. National Council for the Evaluation of Social Development Policy].]
- [CONTAZARA 2022. Ficha Técnica [Technical Data Sheet]. Disponible en: https://www.contazara.es/images/pdf/es/Ficha_CZ4000.pdf]
- [Coronado, O., Fuertes, V., Angulo, F. 2017. Operación de vaciado de las redes de abastecimiento de agua [Emptying Operation of Water Supply Networks. MDPI Technical Note].]
- [Creaco, C., Savic, D., Pezzinga, g. Junio 2017. Sobre la elección del enfoque de modelización hidráulica y de la demanda para la simulación en tiempo real de la RHD [On the choice of the demand and hydraulic modeling approach to WDN real-time simulation]. *Water resources research*.]
- [Devore, J. 2008. Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias [Statistics and Probability for Science and Engineering], 7th edn. CENGAGE Learning, Mexico.]
- [Díaz, V 2001. Diseño y elaboración de cuestionarios para la investigación comercial [Design and elaboration of questionnaires for commercial research] Madrid, España: ESIC Editorial.]
- [Donkor, E., Mazzuchi, T., Soyer, R. & Roberson, A. 2014. Previsión de la demanda de agua urbana: revisión de métodos y modelos [Urban water demand forecasting: review of methods and models]. *Journal of Water Resources Planning and Management* 140, 146–159. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000314]
- [Dorantes, J. 2016. La percepción de los usuarios del servicio de agua potable en Xalapa [The Perception of Users of the Potable Water Service in Xalapa]. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/jedorantes/files/2018/08/2016_La-percepción-de-los-usuarios-del-servicio-deagua-potable-en-Xalapa-2-162.pdf]
- [Escolero, Oscar, Kralisch, Stefanie, Martínez, Sandra E., & Perevochtchikova, María. 2016. Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. [Diagnosis and analysis of the factors influencing the vulnerability of drinking water supply sources in Mexico City, Mexico.] *Bulletin of the Mexican Geological Society*, 68(3), 409-427. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300409&lng=es&tlng=es]
- [Fan, L., Liu, G., Wang, F., Geissen, V. & Ritsema, C. J. 2013. Factores que influyen en el consumo doméstico de agua en los hogares rurales con acceso a un suministro de agua mejorado: datos de la cuenca del río Wei (China) [Factors affecting domestic water consumption in rural households upon access to improved water supply: insights from the



- Wei River Basin, China]. PLoS ONE 8 (8), e71977. Disponible en : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071977>
- [Guragai, B., Hashimoto, T., Oguma, K. & Takizawa, S. 2018. Medición del consumo doméstico de agua basada en un registrador de datos y análisis de microcomponentes de un sistema intermitente de suministro de agua [Data logger-based measurement of household water consumption and micro component analysis of an intermittent water supply system]. Journal of Cleaner Production 197 (1), 1159–1168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.198>]
- [Henrie, M., Carpenter, Ph., Edward, R. 2016. Manual de detección de fugas en tuberías [Pipeline leak detection handbook]. Elsevier Inc Publication.]
- [Hernandez, E. 2014. Hidrodinámica [Hydrodynamics] Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16715/LECT147.pdf?sequence=1&isAllowed=y>]
- [HWM 2022. Ficha Técnica [Technical Data Sheet]. Disponible en: <https://www.hwmglobal.com/multi-log-2/>]
- [IMPLAN 2017. Antecedentes de Atlas de Riesgos Chihuahua [Chihuahua Risk Atlas Background]. Disponible en: [http://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er&per;20Trimestre&per;202020/Art&per;2079&per;20fracc.&per;20VI/inciso&per;20A/PDU&per;202040&per;20\(2002\)/Atlas&per;20de&per;20Riesgos/Documento&per;20completo/I.&per;20Antecedentes.pdf](http://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er&per;20Trimestre&per;202020/Art&per;2079&per;20fracc.&per;20VI/inciso&per;20A/PDU&per;202040&per;20(2002)/Atlas&per;20de&per;20Riesgos/Documento&per;20completo/I.&per;20Antecedentes.pdf)]
- [INEGI 2019. Información de Mexico para niños [Information of Mexico for Kids]. Disponible en: www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/información/chih/default.aspx?tem]
- [INEGI 2020. Viviendas particulares habitadas [Inhabited private homes] Disponible en : <https://www.inegi.org.mx/temas/vivienda/>]
- [Kayser L., Moriarty P., Fonseca C., and Bartram J., 2013. Indicadores y marcos de seguimiento, evaluación, política y planificación del suministro de agua doméstica [Domestic Water Service Delivery Indicators and Frameworks for Monitoring, Evaluation, Policy and Planning]. International Journal of Environmental Research and Public Health. Doi 10.3390/ijerph10104812]
- [Manco Silva, Deibys Gildardo, Guerrero Erazo, Jhoniers, & Ocampo Cruz, Ana María. 2012. Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. [Residential wáter efficiency] Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 11(21), 23-38. Disponible en : http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242012000200003&lng=en&tlng=es.]
- [Melo, B., Lima, G., Manzi, D. 2018. Generación de series temporales de demanda de agua para la modelización de redes de distribución y la previsión de la demanda de agua [Water demand time series generation for distribution network modeling and water demand forecasting]. Urban Water Journal.]
- [Mendoza C., Navarro C. 2020. Análisis del patrón de demanda híbrido en una red de distribución de agua con transición de suministro intermitente a continuo en Riberas de Sacramento, Chihuahua [Analysis of hybrid demand pattern on a water distribution network with



- transition from intermittent to continuous water supply in Riberas de Sacramento, Chihuahua]. *Water Practice and Technology*. Doi 10.2166/wpt.2020.013]
- [Mendoza C., Navarro C. 2022. Estudio del consumo doméstico de agua en el abastecimiento intermitente del sector Riberas de Sacramento en Chihuahua, México [Study of domestic water consumption in intermittent supply of the Riberas de Sacramento sector in Chihuahua, Mexico]. *Water Supply* Doi 10.2166/ws.2022.135]
- [Mendoza C., Navarro C., Valencia A. 2022. Hábitos de consumo de agua potable durante el servicio intermitente en el Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, México [Drinking water consumption habits during intermittent service in Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, Mexico]. *Water Practice and Technology* Doi 10.2166/wpt.2022.123]
- [Minitab 2022. Minitab-Brochure_ES. Disponible en: https://www.minitab.com/content/dam/www/en/uploadedfiles/documents/brochures/Minitab-Brochure_ES.pdf]
- [Montgomery, D. 2004. Control estadístico de calidad [Statistical Quality Control], 3ª edn. Limusa-Wiley, México.]
- [Nagarajan, S., Mohankumar, M. & Sridharan, K. 2003. Modelización de un suministro de agua intermitente [Modelling an intermittent water supply]. In: *World Water and Environmental Resources Congress 2003*, 23-26 June, Philadelphia, PA, pp. 1–11. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)261](https://doi.org/10.1061/40685(2003)261)]
- [Nelson, D. & Erickson, J. 2017. El suministro intermitente en el contexto de los esfuerzos por mejorar el abastecimiento de agua potable por tubería en América Latina y el Caribe [Intermittent Supply in the Context of Efforts to Improve Piped Drinking Water Supply in Latin America and the Caribbean]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Intermittent-Supply-in-the-Context-of-Efforts-to-Improve-Piped-Drinking-Water-Supply-in-Latin-America-and-the-Caribbean-Lessons-from-a-Case-Study-in-Arraiján-Panama.pdf>]
- [Ochoa, L. 2014. Sectorización de redes de distribución. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos.]
- [OECD 2016. Gobernanza del agua en las ciudades, Estudios de la OCDE sobre el agua [Water Governance in Cities, OECD Studies on Water]. OECD Publishing, Paris. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264251090-en>.]
- [ONU 2023. El derecho al agua. Disponible en: [https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=La%20Asamblea%20reconoci%C3%B3el%20derecho,hogar\)%2C%20y%20accesible%20f%C3%ADsicamente%20\(\)](https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=La%20Asamblea%20reconoci%C3%B3el%20derecho,hogar)%2C%20y%20accesible%20f%C3%ADsicamente%20())]
- [Palma, F., Marinis, G., Gargano, R., Greco, R., Ticarico, C. 2014. El modelo de pulso global para predecir la demanda de agua del usuario final [The overall pulse model to predict the end user water demand]. 16th conference on water distribution system analysis.]
- [Pau, M., Pegoraro, P. A. & Sulis, S. Sep 2013. Estimación eficiente del estado de la red de distribución basada en la corriente de rama con medidas sincronizadas [Efficient branch-current-based distribution system state estimation including synchronized measurements]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 62 (9), 2419–2429. Disponible en : <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2272397>]



- [Rouse, M. & El Achi, N. 2019. Un modelo hidráulico híbrido para la transición gradual del suministro de agua intermitente al continuo en Ammán (Jordania): estudio teórico [A hybrid hydraulic model for gradual transition from intermittent to continuous water supply in Amman, Jordan: a theoretical study]. *Water Supply*. doi:10.2166/ws.2019.142 (in press).]
- [Saldarriaga, J. 1998. *Hidráulica de Tuberías*. McGraw-Hill Interamericana. Santafé de Bogotá, Colombia.]
- [Sanza, G. & Perez, R. 2014. Calibración de los patrones de demanda en las redes de distribución de agua [Demand pattern calibration in water distribution networks]. In: 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. CCWI2013. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.164>.]
- [Serrano, R., Ruiz, A. & Tandazo, R. 2018. Enfoque estocástico y determinístico para modelar la red de agua potable: sector Zamora Huayco, Loja, Ecuador [Stochastic and deterministic approach for modeling drinking water network: Zamora, Huayco, Loja, Ecuador]. *Tzhoecoen* 10 (3). Disponible en : <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.328135>]
- [Soto, Gloria, Fuentes, Alfredo & Maya, Lucy. 2012. Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México. [Estimation of the factors and functions of potable water demand in the domestic sector in Mexico.] Doi 10.13140/RG.2.1.1597.1365.]
- [Starczewska, D., Collins, R. & Boxall, J. 2015. Transitorios en las redes de distribución de agua [Occurrence of transients in water distribution networks]. *Procedia Engineering* 119(1), 1473–1482. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.001>.]
- [Tzatchkov, V. & Alcocer-Yamanaka, V. 2016. Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos [Modeling the variation of drinking water consumption with stochastic methods]. *Tecnología y Ciencias del Agua [Technology and Water Sciences]* 3(1), 115–133. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353546192007>.]
- [Tzatchkov, V., Alcocer, V., Bourguett, V. & Arreguin, F. 2014. *Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable [Advances in the Hydraulics of Drinking Water Distribution Networks]*. Mexican Institute of Water Technology Press, Jiutepec, Morelos.]
- [Tutorialesaldia. 2023. Red de Distribución de Agua Potable: ¿Abierta o Cerrada? Disponible en: <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>]
- [Willis, R., Stewart, R., Giurco, D., Reza, M. & Mousavinejad, A. 2013. Consumo final de agua en los hogares: impacto de los factores sociodemográficos y de los dispositivos eficientes [End use water consumption in households: impact of sociodemographic factors and efficient devices]. *Journal of Cleaner Production* 60, 107–115. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>]



[Wong, J. S., Zhang, Q. & Chen, Y. D. 2010. Modelización estadística del consumo urbano diario de agua en Hong Kong: tendencia, patrones cambiantes y previsión [Statistical modeling of daily urban water consumption in Hong Kong: trend, changing patterns, and forecast]. *Water Resources Research* 46, W03506. Disponible en : <https://doi.org/10.1029/2009WR008147>]

[Xhafa, S., Avdullahu, I., Ahmeti, M. 2016. Control de la automatización de las redes de abastecimiento de agua [Automation Control on Water Supply Networks]. *Science Direct - Papers Online.*]



Curriculum Vitae

M.I. M.A. Carlos David Mendoza Garcia graduado de las carreras de Licenciatura en Ingeniería Civil en 2009 y Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Topográficos en 2008 por la Universidad Autónoma de Chihuahua, especializado en Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres por la Facultad de Ingeniería de la UACH y Maestría en Administración de Empresas por la Facultad de Contaduría y Administración de la UACH en 2011 con experiencia docente dando cátedra de Materias de Ingeniería Civil tales como Geotécnica, Urbanismo y Conservación de caminos desde el 2019. Actualmente además trabaja como Jefe de la Oficina Norte del Departamento de Red Hidráulica de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua en la atención de repartes de fugas y proyectos operativos dentro de la red hidráulica de la ciudad de Chihuahua.

Publicaciones.

Carlos David Mendoza Garcia and Carmen Julia Navarro Gomez, Analysis of hybrid demand pattern on a water distribution network with transition from intermittent to continuous water supply in Riberas de Sacramento, Chihuahua. *Water Practice and Technology* Vol 15.1, pag 213 – 224, 2020.

Carlos David Mendoza Garcia and Carmen Julia Navarro Gomez, Study of domestic water consumption in intermittent supply of the Riberas de Sacramento sector in Chihuahua, Mexico. *Water Supply* Vol 22.4, pag 4728 – 4743, 2022.

Carlos David Mendoza Garcia, Carmen Julia Navarro Gomez and Arnoldo Valencia Cortez, Drinking water consumption habits during intermittent service in Sector Riberas de Sacramento, Chihuahua, Mexico. Submission in production. *Water Practice and Technology. Water Supply* Vol 22.4, pag 4728 – 4743, 2022.

Correo electrónico: cdmendoza@uach.mx

Esta tesis fue mecanografiada por M.I. M.A. Carlos David Mendoza García