UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

EFICIENCIA FÍSICA DE LA RED DE AGUA POTABLE COMO FACTOR DE RESILIENCIA EN FRACCIONAMIENTOS DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

POR:

ENRIQUE KONG VARGAS

ESTUDIO DE CASO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA EN HIDROLOGÍA

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO **MARZO 2022**

Eficiencia física de la red de agua potable como factor de resiliencia en fraccionamientos en la ciudad de Chihuahua. Estudio de Caso presentado por Enrique Kong Vargas como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Hidrología, ha sido aprobado y aceptado por:

M.I. Javier González Cantú
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Alejandro Villalobos Aragón
Secretario de Investigación y Posgrado

M.I. Miguel Ángel González Núñez
Coordinador Académico

Dra. Carmen Julia Navarro Gómez
Directora de Tesis

Marzo 2022

Fecha

COMITÉ
Dra. Carmen Julia Navarro Gómez
Dr. Eduardo Florencio Herrera Peraza
Dr. Jesús Rubén Sánchez Navarro
M.I. Rodrigo Ulises Santos Téllez

Derechos Reservados
Enrique Kong Vargas
Circuito Universitario No. 1, Campus Universitario 2 C.P. 31125
Chihuahua, Chih. México
marzo 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

10 de marzo de 2022.

ING. ENRIQUE KONG VARGAS
Presente.

En atención a su solicitud relativa al trabajo de estudio de caso para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, 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 como estudio de caso, con el título **"EFICIENCIA FÍSICA DE LA RED DE AGUA POTABLE COMO FACTOR DE RESILIENCIA EN FRACCIONAMIENTOS DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA"**.

Índice de Contenido

Agradecimientos

Resumen

Índice de contenido

Índice de figuras

Índice de tablas

Capítulo 1: Introducción

Capítulo 2: Antecedentes

- 2.1 Marco Físico
- 2.2 Estado del arte
- 2.3 Planteamiento del problema
- 2.4 Justificación

Capítulo 3: Hipótesis

- 3.1 Objetivo general
- 3.2 Objetivos específicos

Capítulo 4: Metodología

- 4.1 Características hidráulicas y sociales del sector
- 4.2 Definición de parámetros de consumo de los usuarios del sector
- 4.3 Análisis de integración de características, hidrosociales y de operación

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Capítulo 5: Resultados

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

Capítulo 7: Aportaciones y líneas futuras de investigación

Bibliografía

Currículum Vitae

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares del documento terminal.

A T E N T A M E N T E

"Naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA U.A.CH.

DIRECCIÓN

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No.1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

Dedicatoria

Quisiera reconocer, y dedicar este trabajo a mi madre María del Rosario y mi padre Enrique, que siempre me han apoyado; también dedico este proyecto a mi esposa Karla y mis hijos Alejandra y Leonardo, que, al acompañarme en todos los instantes de mi vida, me hacen afortunado, y me permiten continuar en este maravilloso mundo del conocimiento.

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a todos aquellos que han hecho posible esta oportunidad de aprendizaje, a la directora de este estudio de caso, que identificó las fortalezas para desarrollar este proyecto, a los revisores que al ser parte del comité me guiaron en el proceso; también es importante agradecer a la Facultad de Ingeniería de la UACH, que me permitió cursar la Maestría en Ingeniería en Hidrología, a los maestros que con su cátedra me ofrecieron una visión de los recursos hídricos; y al organismo operador de agua de Chihuahua, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento, JMAS, por la información proporcionada.

Resumen

Las empresas de servicios de agua en la actualidad, afrontan retos que van desde crecimiento poblacional hasta el cambio climático, identificando sus fortalezas, y mejorando la gestión eficiente de sus servicios, principalmente en el esquema para gestión de pérdidas reales de agua; incidiendo en lo económico, y preservando las fuentes de agua.

Este trabajo determina la línea base de pérdidas de volumen de agua en un fraccionamiento de reciente construcción, y con ello obtener los volúmenes que pueden ser recuperados y la eficiencia física que puede ser mantenida mediante acciones de control.

Para lo cual se analizan con la metodología de pérdidas de agua, siendo los indicadores de desempeño para los servicios de abastecimiento de agua de la IWA, aunado con las investigaciones de Allan Lambert, director de "Leakssuite Library Ltd", y colaborador del grupo de especialistas en pérdidas de agua de la IWA.

El índice de fugas en la infraestructura ILI, con valores de 1.7 al inicio del periodo de estudio, y hasta 5.7 en el mes más cálido, reflejan la clasificación para el ILI del "World Bank Institute", colocándolos en pérdidas de agua muy bajas, a pérdidas de agua altas; y a su vez, en el último mes del periodo el índice se recupera a un valor de 4.0, que indica pérdidas de agua medias, lo que coincide con reducir notablemente las pérdidas existentes, mejorando el control de fugas y la gestión de la infraestructura, evidenciando el incremento en la eficiencia física con valores bajos de ILI.

Palabras clave: Pérdidas reales de agua, Eficiencia Física, Índice de fugas en la infraestructura ILI.

Índice de contenido

Agradecimientos vi

Resumen vii

Índice de contenido viii

Índice de figuras x

Índice de tablas xi

EFICIENCIA FÍSICA DE LA RED DE AGUA POTABLE COMO FACTOR DE RESILIENCIA EN FRACCIONAMIENTOS DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA 1

Capítulo 1: Introducción 1

Capítulo 2: Antecedentes 2

2.1 Marco físico 4
2.1.1 Selección del sitio de estudio 5
2.1.2 Variables de los indicadores de desempeño de la IWA 5
2.1.3 Topografía 9
2.1.4 Climatología 11
2.1.5 Geología 13
2.1.6 Hidrografía 15
2.1.7 Hidrogeología 17
2.1.8 Uso de suelo 17
2.2 Estado del arte 20
2.2.1 Pérdidas reales en el balance hídrico de la IWA 25
2.2.2 Estrategias de gestión de pérdidas reales 28
2.3 Planteamiento del problema 30
2.4 Justificación 33

Capítulo 3: Hipótesis 33

3.1 Objetivo general 33
3.2 Objetivos específicos 33

Capítulo 4: Metodología 34

4.1 Características hidráulicas y sociales del sector 35
4.2 Definición de parámetros de consumo de los usuarios del sector 38

4.2.1 Cálculo de UARL y ILI 43
4.2.2 Caudal mínimo nocturno (MNF) e Índice de caudal nocturno (NFR) 44
4.3 Análisis de integración de características, hidrosociales y de operación 45
Capítulo 5: Resultados 48
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones 58
Capítulo 7: Aportaciones y líneas futuras de investigación 60
Bibliografía 62
Currículum Vitae 64

Índice de figuras

Figura 2.1 Condición de los acuíferos en México. (SINA, 2021) 2
Figura 2.2 Climatología en México. (INEGI, 2021) 3
Figura 2.1.1.1 Ubicación de la zona en estudio. 5
Figura 2.1.3.1 Mapa de curvas de nivel del fraccionamiento Monteverde 10
Figura 2.1.4.1 Mapa de climatología del fraccionamiento Monteverde 12
Figura 2.1.5.1 Mapa de geología del fraccionamiento Monteverde 14
Figura 2.1.6.1 Mapa de hidrografía del fraccionamiento Monteverde 16
Figura 2.1.8.1 Mapa de uso de suelo, PDU2040. 19
Figura 2.2.1 Ciclo urbano del agua. Fuente ACCIONA Agua (I+D+i, Investigación, Desarrollo e innovación). 20
Figura 2.2.2 Marco de la Resiliencia Hídrica Urbana. (ARUP, 2018) 22
Figura 2.2.3 Componente del balance hídrico. (IWA, 2017) 25
Figura 2.2.2.1 Esquema para la gestión de pérdidas reales. (Lambert & Lalonde, 2005) 29
Figura 2.3.1 Eficiencia Física 1 JMAS Chihuahua. (IMTA, 2021) 31
Figura 2.3.2 Eficiencia Física 2 JMAS Chihuahua. (IMTA, 2021) 32
Figura 4.1 Constructo general para el balance hídrico de la IWA 34
Figura 4.1.1 Infraestructura hidráulica y puntos de control 37
Figura 4.2.1 Fugas en el medidor del fraccionamiento Monteverde 40
Figura 4.2.2 Lecturas en el mes de junio del fraccionamiento Monteverde 42
Figura 4.3.2 Conexión típica de casa con medidor sobre la banqueta. (AWWA, 2022) 47
Figura 5.1 Gráfico de presiones aguas abajo vs caudal máximo 49
Figura 5.2 Gráfica de los puntos de control. 50
Figura 5.3 Gráfica de caudal y presión en el mes de junio de 2021 51
Figura 5.4 Gráfica del caudal mínimo nocturno (MNF) 52
Figura 5.5 Gráfica de la temperatura media mensual y las pérdidas reales de agua. 53
Figura 5.6 Gráfica de la temperatura media mensual y la eficiencia física del sistema 54
Figura 5.7 Gráfica del índice de fugas en la infraestructura (ILI) y la eficiencia física 55
Figura 5.8 Gráfica del análisis del sistema de agua potable del mes de junio de 2021 57

Índice de tablas

Tabla 4.2.1.1 Clasificación del ILI de acuerdo con el WBI. (The LEAKSSuite Library, 2021) 44
Tabla 4.3.1 Cálculo de la UARL. (Lambert, Brown, Takizawa, & Weimer, 2020).....46
Tabla 4.3.3 Balance del fraccionamiento Monteverde 48
Tabla 4.3.4 Estimación del Balance Hídrico 56
Tabla 4.3.5 Análisis del sistema de agua potable del mes de junio de 2021 58

EFICIENCIA FÍSICA DE LA RED DE AGUA POTABLE COMO FACTOR DE RESILIENCIA EN FRACCIONAMIENTOS DE LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

Capítulo 1: Introducción

La lista de problemas que son relacionados a la escasez del agua, se presume interminable; pasando por el crecimiento de la población, sequías naturales, cambio climático, la eficiencia en las infraestructuras de los sistemas de agua potable en todo el mundo; estas cuestiones serían algunas que se destacarían, siendo el sustento para la gestión de las pérdidas de agua. El incremento en la población, así como el cambio en el uso de la tierra, surgen como causa en la escasez del suministro del agua, siendo indispensable la utilización del agua disponible de manera de uso inteligente y sostenible, reduciendo las pérdidas de agua con las metodologías y experiencias que sobresalen en el planeta. La combinación de situaciones y problemas que se encuentran en cada ciudad y pueblo en el mundo, son únicas; altas o bajas presiones, suministros intermitentes, reducidos o adecuados recursos financieros, e infraestructura con una antigüedad considerable; estos son desafíos únicos, y con una necesaria atención por cualquier profesional del agua. Enfocarnos en las pérdidas de agua, permite adaptarnos de una manera responsable a los cambios que se presentan en nuestros tiempos, con el fin de proteger la salud, el medio ambiente y mejorando la estabilidad económica de los organismos operadores, actuando dentro del campo de la resiliencia hídrica. Estas acciones son factores importantes para la resiliencia y sostenibilidad del desarrollo de las comunidades, como la reducción de las pérdidas de agua, el mejorar el control de fugas y la gestión de la infraestructura, garantiza la continuidad del servicio de agua potable, dentro de la infraestructura y medio ambiente en el marco de la resiliencia hídrica urbana.

Capítulo 2: Antecedentes

En Chihuahua como un Estado desértico, todos los sectores sociales deben de impulsar la responsabilidad de usar el agua de manera sostenible, donde los usuarios y dependencias, deben de participar asertivamente, con una visión holística y de forma interrelacionada, considerando los cambios y compromisos con el medio ambiente, la conservación de la salud, el desarrollo social y la política. Actualmente, el Estado cuenta con 44 acuíferos sobreexplotados de los 61 acuíferos existentes (SINA, 2021) cómo se muestra en la figura 2.1; hace solo 10 años eran 29 acuíferos con condiciones de sobreexplotación, esto evidencia una decadencia de nuestros sistemas hídricos.

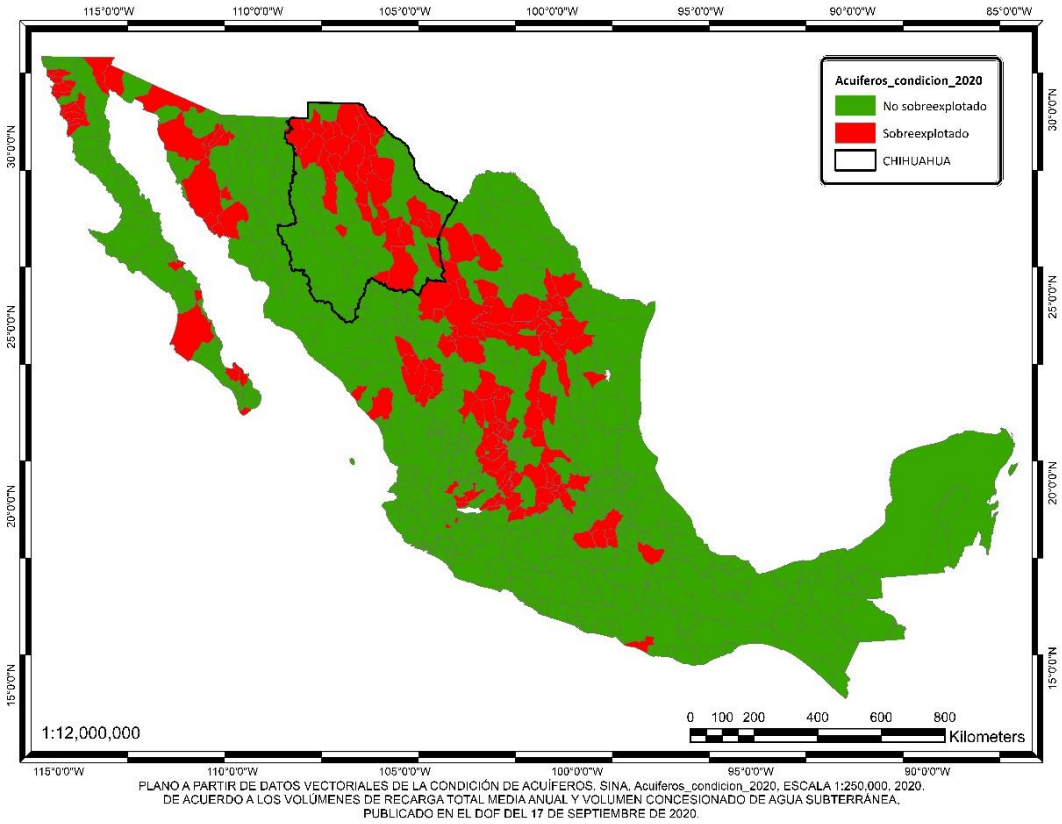

Figura 2.1 Condición de los acuíferos en México. (SINA, 2021)

El Estado de Chihuahua presenta diferencias con la zona centro y sur de México como se muestra en la figura 2.2, que tiene implicaciones en entender de una mejor manera el cómo se abastece y es aprovechada el agua de las principales ciudades, hasta su uso final por los usuarios.

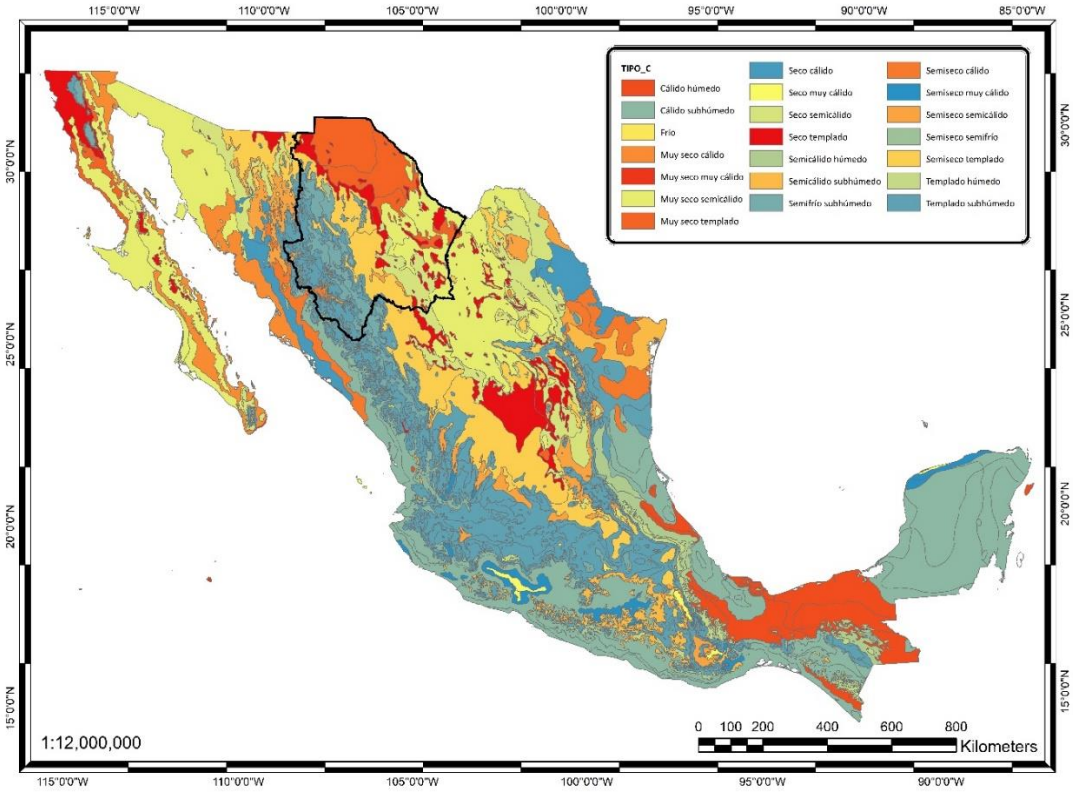

Figura 2.2 Climatología en México. (INEGI, 2021)

Es evidente que, a nivel mundial, algo que incide en la sostenibilidad de los recursos hídricos y parte importante para la resiliencia de las ciudades, son las eficiencias físicas de los sistemas de agua potable, lo que presenta retos importantes. En Latinoamérica y en específico en México, presenta una gran complejidad para tener eficiencias físicas en los sistemas de agua potable aceptables; debido a que se operan los sistemas de forma intuitiva y reactiva, que rara vez se busca la causa de la mala respuesta del sistema a la forma operativa

que se establece, pues casi nunca se tienen catastros actualizados y un manual de operación, sino que esto se da, de forma empírica.

El municipio de Chihuahua continúa teniendo un crecimiento acelerado de la mancha urbana, que demanda con mayor rapidez, infraestructura y abastecimiento de agua potable, que el tiempo que se le destina al análisis y planeación de forma adecuada de la infraestructura necesaria y su operación entre lo existente y lo que se anexa nuevo.

Una de las zonas de mayor crecimiento en la última década es la zona poniente del municipio, en ella se encuentran nuevos fraccionamientos, que al ser de reciente construcción deben de presentar menos problemas en sus sistemas de agua potable, sin embargo, pocas veces se hace el análisis de la eficiencia física de este tipo de desarrollos, con el fin de obtener cual es la eficiencia física que presenta antes del envejecimiento y el efecto del estrés operativo. Por ello se decidió realizar el análisis de uno de los fraccionamientos de la zona y estimar el balance hídrico, con el fin de obtener variables de control que pudieran ser aplicadas para los demás fraccionamientos del municipio de Chihuahua.

Los sistemas de agua potable de acuerdo a la forma en que proporcionan el servicio, satisfacen la demanda del usuario final y capitalizan de forma eficiente el recurso hídrico, mediante el control del menor volumen de agua perdida. Cuando esto no está en equilibrio los operarios implementan el suministro intermitente en el sistema de distribución de agua potable y recurren a la extracción de mayores volúmenes de agua, para suplir el volumen de agua perdida en la red, lo que incide en la competencia del recurso hídrico entre usuarios que comparten la misma fuente. (AMH, 2021)

2.1 Marco físico

A continuación, se describe el fraccionamiento Monteverde el cual presenta características idóneas para realizar el estudio de caso, aprovechando las mismas, con un enfoque dentro de la resiliencia hídrica.

2.1.1 Selección del sitio de estudio

Para la implementación del estudio se seleccionó el fraccionamiento en la zona poniente de la ciudad de Chihuahua, por ser de menor antigüedad y tener el mayor crecimiento proyectado en el futuro inmediato. Ubicado en las coordenadas geográficas latitud 28.592544° y longitud -106.165324°, con un Datum WGS84, como se muestra en la figura 2.1.1.1

Figura 2.1.1.1 Ubicación de la zona en estudio.

2.1.2 Variables de los indicadores de desempeño de la IWA

La metodología de la IWA es un referente, y sus indicadores se aplican a varios contextos diferentes. Estos indicadores ID, son un estándar de la industria para la evaluación del desempeño, incluyendo sus conceptos en las normas nacionales e internacionales, que son aprovechados por los prestadores de servicios de agua alrededor del mundo.

La industria del agua continúa sosteniendo una evolución en relación al desempeño, actualizando con reformas institucionales dirigidas a idear escalas adecuadas para los servicios de agua, gestionando su eficiencia, transparencia y rendición de cuentas mediante entidades reguladoras. El costo de recuperación es un ingrediente importante en la

gobernanza de los servicios de agua. La sostenibilidad de los servicios de agua, así como su infraestructura es un factor clave que debe de tomarse como un concepto, en nuestro tiempo presente.

La Organización de Naciones Unidas, reconoce el Derecho Humano al Agua y Saneamiento, enfocándose en que todas las personas tienen derecho a agua suficiente, segura, aceptable, accesible y asequible para usos personales y domésticos.

Dentro de los servicios de interés general, vitales para el bienestar general, la salud pública, y la seguridad colectiva de las poblaciones, se encuentra el suministro público de agua en las comunidades; estos servicios de agua, son el principal transporte que garantiza el derecho humano al agua en todo el mundo.

El monopolio natural que se presenta entre los operadores del servicio de agua potable, y los usuarios es un importante mercado en el sector del agua, generando así un solo operador por área geográfica servida, y ubicando al usuario en un solo contexto de no tener la oportunidad de seleccionar al operador, ni el precio y calidad que más le convenga. Al ser solo un organismo operador, se genera una nula iniciativa de incrementar su eficiencia y eficacia, misma que al ser una debilidad se debe de considerar su minimización. Además, este sector se enfrenta a grandes desafíos, que están en constante evolución, como el aumento de la edad de las infraestructuras y la sostenibilidad del servicio.

Los criterios técnicos, en la gestión de los servicios de agua, conforman decisiones estratégicas en los sistemas de redes de distribución, y hacen frente, a los nuevos retos que dependen de las características de esta red, algunos ejemplos serían, la expansión de la red, el aumento de la resiliencia a la escasez de agua, la mejora en la calidad del agua y disminución de la energía.

La evaluación del desempeño tendrá que basarse en incluir los aspectos críticos, para impulsar el éxito del organismo operador. La IWA selecciona indicadores de desempeño basados en los objetivos estratégicos del servicio, que impactan directamente en la

infraestructura, implementando como un objetivo general la sostenibilidad del servicio con el tiempo.

Una de las partes interesadas indirectamente en el suministro de agua, que no tienen una conexión directa con el sistema, pero pueden verse afectadas por el impacto en el medio ambiente circulante o por el mismo, son las rotúras de tuberías (fugas), y el impacto cuantitativo y cualitativo de la extracción de agua.

El propósito común de los prestadores de servicio en sus objetivos de gestión será: "Lograr la mayor satisfacción del consumidor y calidad del servicio en consonancia con el marco regulatorio vigente, al tiempo que se hace el mejor uso de los recursos disponibles". (Faria & Alegre, 1996)

Como parte de los indicadores de desempeño de la IWA, para el cálculo de las pérdidas reales se relacionan las siguientes variables: (IWA, 2017)

El volumen de entrada al sistema (A3), este volumen se estima en un determinado periodo de tiempo y es el volumen total que entra al sistema en estudio.

El consumo medido facturado (A8), este consumo resulta de la adición de las lecturas de los medidores de los usuarios, y se debe de relacionar el periodo de evaluación para una mejor estimación del valor correcto.

El consumo no medido facturado (A9), este dato resulta de estimar con estudios o información disponible este valor de entrada.

El consumo autorizado facturado (A10), es la cantidad total de los consumos medido facturado y no medido facturado, (A8+A9).

El consumo no facturado medido (A11), como su nombre lo indica son todos los consumos que no son facturados y que se contabiliza su medición, generalmente a decisión e interpretación del organismo operador.

El consumo no facturado y no medido (A12), al igual que el consumo A11, este consumo, se estima con la información disponible y que a decisión del organismo operador no se factura.

El consumo autorizado no facturado (A13), es la suma de los consumos no facturados A11 y A12.

El consumo autorizado (A14), este volumen de agua es el total de los consumos por usuarios del sistema de agua potable residenciales, comerciales, industriales o público en general, y servicios, medido y no medido, en un determinado periodo de tiempo, y se calcula sumando los consumos A10 y A13.

Las pérdidas de agua (A15), es la diferencia del volumen de entrada al sistema y el consumo autorizado, A3 – A14.

El consumo no autorizado (A16), es el consumo de agua robada, o que de alguna forma no se autoriza su uso, y debe de ser evaluada con forme a la información o estudios que el organismo operador tenga a su disponibilidad.

Las Imprecisiones de medida (A17), es la cantidad de agua que por imprecisiones de medición no se contabiliza, y su estimación puede basarse en datos de calibración de medidores o información relacionada con los medidores que se encuentran instalados en la zona en estudio.

Las pérdidas aparentes (A18), es la cantidad de agua que resulta de sumar el consumo no autorizado y las imprecisiones de medida, es decir A16 + A17.

Las pérdidas reales (A19), pérdidas físicas de agua hasta el medidor del usuario y dentro de un sistema a presión, y se obtiene restando las pérdidas de agua (A15) y las pérdidas aparentes (A18).

La longitud de la red (C8), es la longitud completa de las conducciones y red de distribución, no incluye acometidas, ni infraestructura fuera de servicio.

Las acometidas (C24), es el número de usuarios con o sin medidor de agua, o tomas de agua potable, se debe de incluir todo tipo de tomas de agua.

La longitud media de las acometidas (C25), es la longitud media medida desde la propiedad hasta el medidor de agua.

La presión media de funcionamiento (D34), esta presión se obtiene midiendo en los puntos de entrega, es decir en el cambio de la tubería del organismo operador al usuario del sistema de agua potable, teniendo el sistema presurizado.

El tiempo que el sistema esta presurizado (H2), se puede medir en el número de horas en el que se presuriza el sistema en estudio, teniendo especial atención en la forma en que el sistema se comporta debido a las alteraciones que pueda recibir.

La gestión de las variables anteriormente descritas, puede obtenerse mediante el uso de la herramienta informática SIGMA, la cual fue desarrollada por el Instituto Tecnológico del Agua (ITA), que es un grupo de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia. (UPV, 2022)

Cabe aclarar que los indicadores de desempeño de la IWA cuentan con más variables, en este estudio solo se adoptan las variables que intervienen en el cálculo de las pérdidas reales.

2.1.3 Topografía

Las actividades de campo y gabinete que desarrollan información planimétrica y/o altimétrica; representadas en planos a una escala conveniente, proporcionan datos que, al ser analizados, sirven de base para calcular las diferentes variables que intervienen en los indicadores de desempeño de la IWA. Estas variables topográficas incluidas en los indicadores de contexto, del Medioambiente, para topografía son: La C192 – Elevación media de las fuentes (m), C193 – Máxima elevación de entrega (m), C194 Mínima elevación de entrega (m). (IWA, 2017). En la figura 2.1.3.1 se muestra las curvas de nivel del fraccionamiento Monteverde, con un desnivel de 21 metros, ubicando la cota más baja en 1524 m.s.n.m. y la cota más alta en 1545 m.s.n.m.

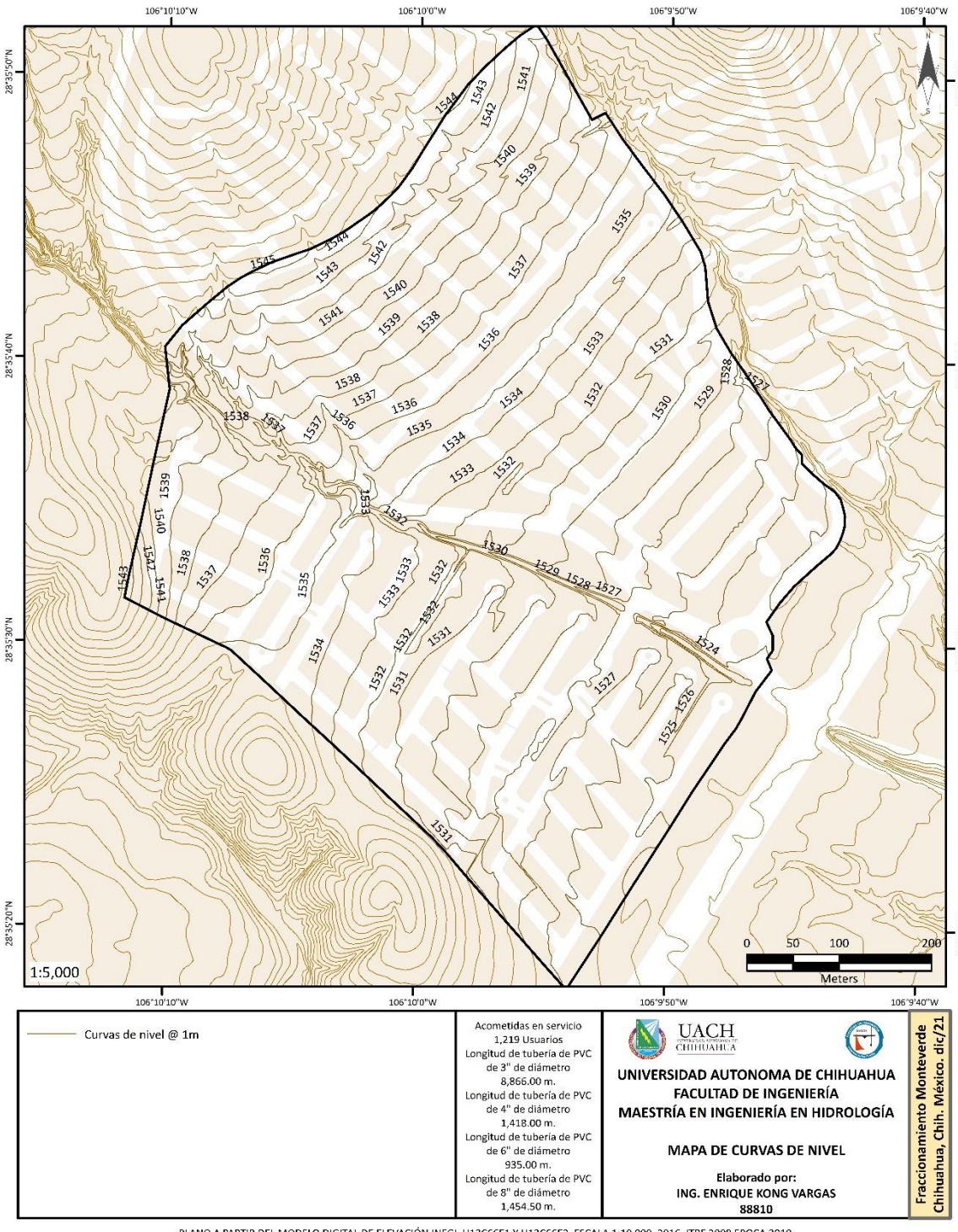

Figura 2.1.3.1 Mapa de curvas de nivel del fraccionamiento Monteverde

2.1.4 Climatología

La climatología es la información que concentra los datos de los climas y de sus elementos principales, tales como la precipitación y temperatura. El clima es el resultado de varios factores que impactan directamente en sus características; estas se pueden determinar dentro de un grupo esencial de elementos; la temperatura, la humedad y la presión del aire, vientos y precipitaciones. Los factores climáticos como altitud, latitud, localización del lugar, las masas de agua y las corrientes marinas; también intervienen en la determinación del clima. Los grupos climáticos se clasifican de la siguiente manera; la isoterma de 22°C, separa los climas cálidos de los semicálidos; la de 18°C, para separar climas semicálidos de los templados; la de 12°C, para separar climas templados de los semifríos; y la isoterma de 5°C, para separar climas semifríos de los muy fríos. (INEGI, 2021). En la figura 2.1.4.1 se muestra la climatología del fraccionamiento Monteverde, ubicando la unidad climatológica en semiseco templado.

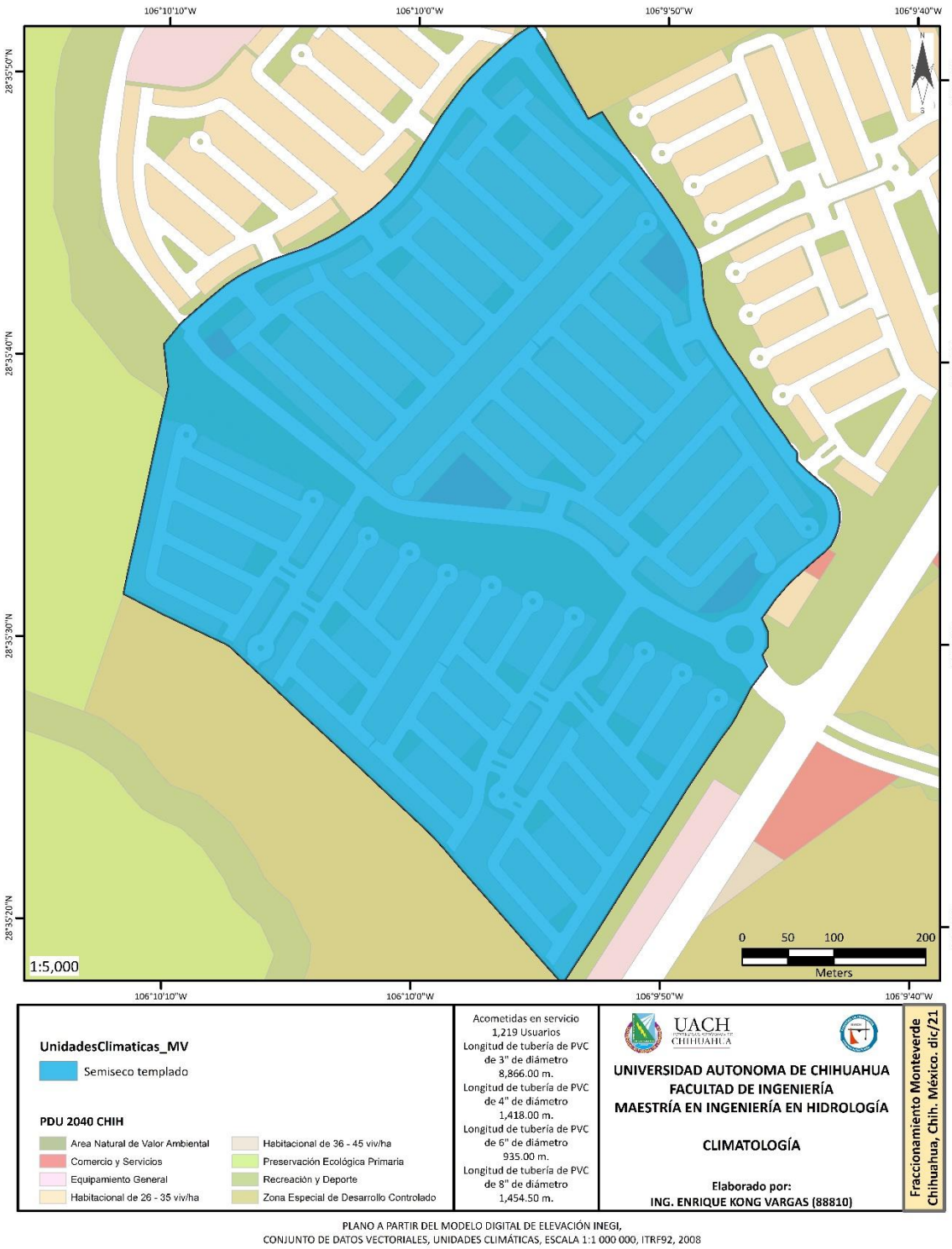

Figura 2.1.4.1 Mapa de climatología del fraccionamiento Monteverde

2.1.5 Geología

La información del origen, clasificación y edad de las rocas, fallas, fracturas volcánicas, minas y zonas hidrotermales son algunos de los datos que son procesados dentro de la geología. La litología, que es la clasificación de las rocas de acuerdo con su origen y su composición mineralógica; las estructuras, que son los sistemas de fallas o fracturas producidas por los movimientos tectónicos; la clasificación de los suelos de acuerdo con su origen; y la ubicación de minas y catas, con el señalamiento de los minerales que son extraídos; estos elementos, también se consideran dentro de la geología.

Las rocas como sustrato contienen referencias para la formación o construcción de acuíferos, a su vez: son factores que ofrecen información en la planeación de centros de población, establecimientos comerciales o complejos industriales. (INEGI, 2021). En la figura 2.1.5.1 se muestra la geología del fraccionamiento Monteverde, teniendo una clase sedimentaria, con un tipo de conglomerado de la era cenozoico.

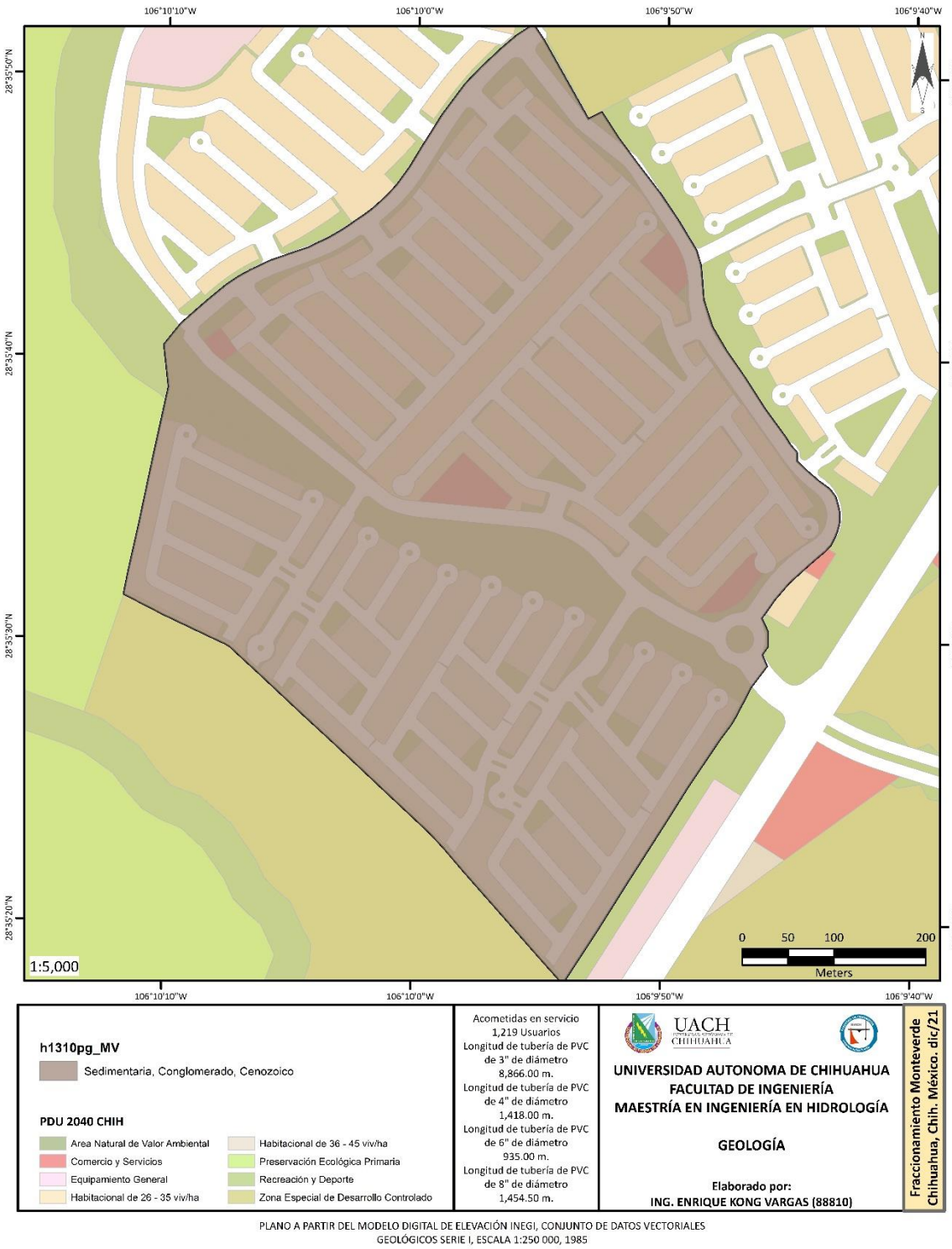

Figura 2.1.5.1 Mapa de geología del fraccionamiento Monteverde

2.1.6 Hidrografía

Una cuenca hidrológica es la unidad básica de estudio, también es una zona de la superficie terrestre en donde la lluvia cae sobre de ella y es drenada por las redes de corrientes hacia un punto de descarga. (Aparicio Mijares, 1992)

La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida o descarga de la cuenca, las demás corrientes en esta cuenca se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación. Toda cuenca tiene una y solo una corriente principal. (Campos Aranda, 1998). En la figura 2.1.6.1 se muestra la hidrografía del fraccionamiento Monteverde, en la Unidad Hidrográfica de la Región Bravo conchos (RH24), Cuenca R. Conchos – P. El Granero (RH24K), y Subcuenca R. Chuvíscar (RH24Kc).

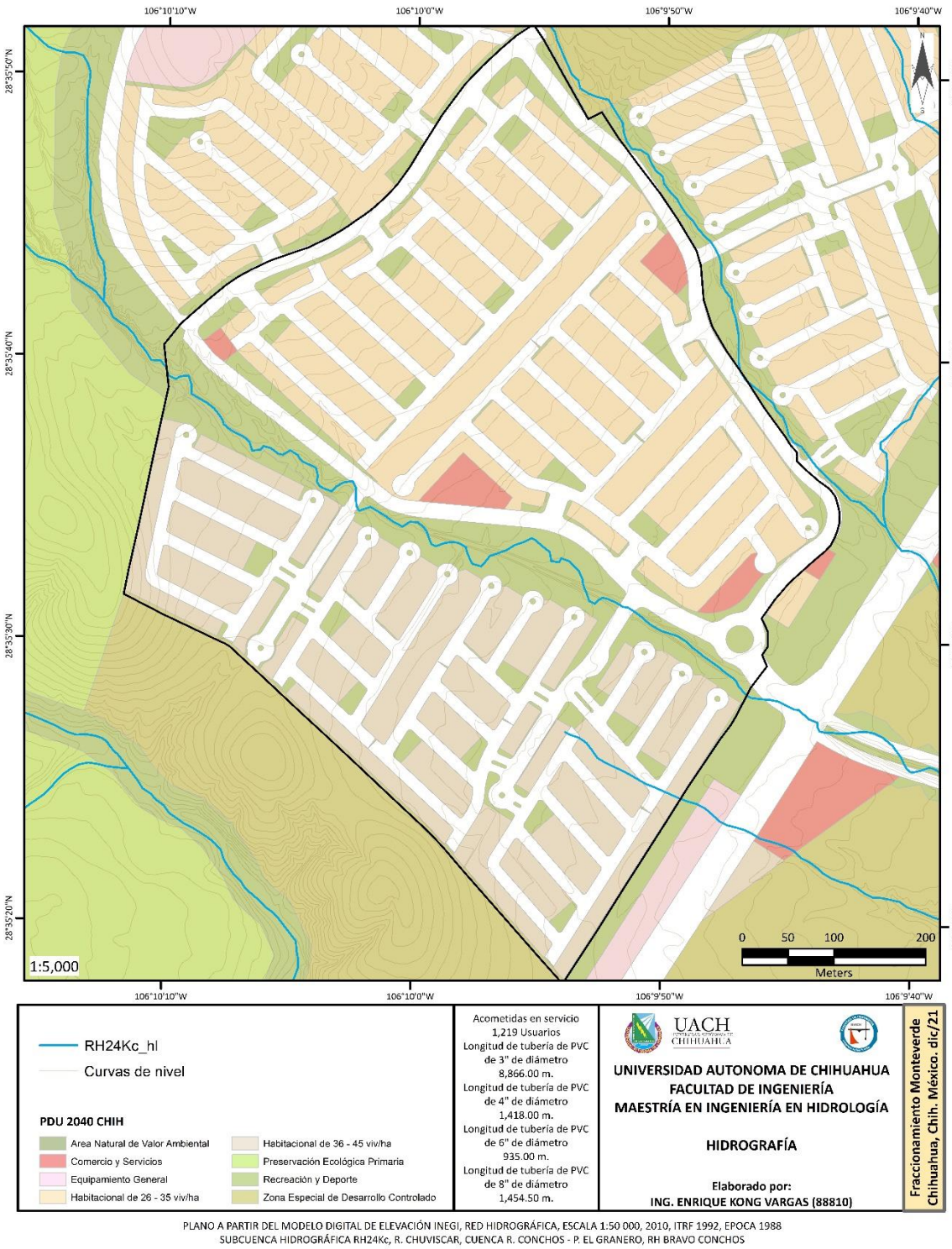

Figura 2.1.6.1 Mapa de hidrografía del fraccionamiento Monteverde

2.1.7 Hidrogeología

La determinación de las estructuras geológicas que gobiernan el flujo del agua subterránea y su almacenamiento, así como la recarga y descarga de los acuíferos son componentes de la hidrogeología. Los acuíferos son explotados para satisfacer las necesidades de agua de las poblaciones, que son afectadas por las condiciones climatológicas y topográficas. El comportamiento del agua subterránea, las políticas de explotación y el impacto ambiental, son definidos mediante los censos de aprovechamientos de agua superficial y subterránea, la medición de la piezometría, los volúmenes de extracción, el muestreo y análisis físico-químico del agua subterránea y los métodos de exploración geofísica. (CONAGUA, 2007)

El fraccionamiento Monteverde se sitúa dentro del acuífero Chihuahua-Sacramento, con clave 0830 del SIGMAS de la CONAGUA, este acuífero se localiza en la porción central del Estado, con una superficie de 1889 km^2, pertenece al Organismo de Cuenca "Río Bravo" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. El usuario principal de este acuífero es el sector público-urbano, a través del organismo operador de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS), y no se localiza distrito o unidad de riego dentro de su territorio. (CONAGUA, 2018). Este acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), actualmente se ubica en calidad de sobreexplotado, en donde su extracción supera 2.2 veces la estimación de la recarga media, en otras palabras, la disponibilidad de agua subterránea se ubica en números negativos, en déficit, o que no existe disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones. (SINA, 2021)

2.1.8 Uso de suelo

En función al Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chihuahua Visión 2040, PDU2040, actualizado en 2016; se establecieron los usos de suelo para el estudio, obteniendo una distribución, para calcular un valor ponderado de las aéreas de influencia que representan la zona de interés. (IMPLAN, 2016). En la figura 2.1.8.1 se

muestra el uso de suelo del fraccionamiento Monteverde, ubicando a la zona de Monteverde I con disponibilidad habitacional de 26 a 35 viviendas por hectárea, y Monteverde II con disponibilidad habitacional de 36 a 45 viviendas por hectárea, anexando zonas para comercios, servicios y áreas verdes.

Figura 2.1.8.1 Mapa de uso de suelo, PDU2040.

2.2 Estado del arte

El agua como recurso puede contar con procesos y servicios para generar un ciclo urbano del agua, en el cual intervienen el abastecimiento y saneamiento, en donde se dividen las diferentes etapas del ciclo presentándose como servicios integrales, para finalizar en la reutilización del agua que se aprovecha para usos distintos al consumo humano (igua, 2021) como se muestra en la figura 2.2.1

Figura 2.2.1 Ciclo urbano del agua. Fuente ACCIONA Agua (I+D+i, Investigación, Desarrollo e innovación).

Este recurso natural vital debe de permanecer en lo que conocemos como la sostenibilidad hídrica para agua potable y saneamiento, definida por Abrams y Lockwood and Smits como “el mantenimiento de un cierto nivel de beneficio de una inversión, después de que se cumpla su etapa de implementación y debe ser interpretada en un periodo de tiempo sin límites”. Un primer grupo de factores que intervienen en la sostenibilidad hídrica son los aspectos sociales, técnicos, económicos, financieros, institucionales y ambientales; un segundo grupo está definido por el tiempo en que se presenta el nivel de servicio recibido por los usuarios, estableciendo la cantidad, la calidad, la accesibilidad y la fiabilidad del

suministro, y depende de las acciones de quien presta el servicio en los diferentes niveles institucionales. (AECID, 2015)

Al combinar los factores de la sostenibilidad hídrica con acciones como anticipar, absorber, adaptarse, responder y aprender de las conmociones y tensiones, entramos en el campo de la resiliencia hídrica en ciudades, teniendo como fin, el proteger la salud y el bienestar público, respetando el medio ambiente y reduciendo las perturbaciones económicas. (ARUP, 2018), ver figura 2.2.2

Un ejemplo es en la Ciudad de México, donde se plantea manejar el agua de su cuenca bajo una GIRHU, gestión integrada de recursos hídricos urbanos. Una GIRHU es un proceso flexible, participativo e iterativo que integra todos los elementos del ciclo de aguas urbanas (suministro de agua, saneamiento, gestión de aguas pluviales y gestión de residuos) con el desarrollo urbano de la ciudad y la gestión de cuencas, y sus recursos naturales y servicios ecosistémicos para maximizar los beneficios económicos, sociales y medioambientales de manera equitativa e inclusiva. Implica la participación de diferentes actores interesados que permiten formar una visión de corto y largo plazo sobre las acciones, sinergias e inversiones necesarias en materia de infraestructura tradicional, infraestructura verde, desarrollo institucional, financiamiento y desarrollo de capacidades, entre otros (Banco Mundial, 2012)

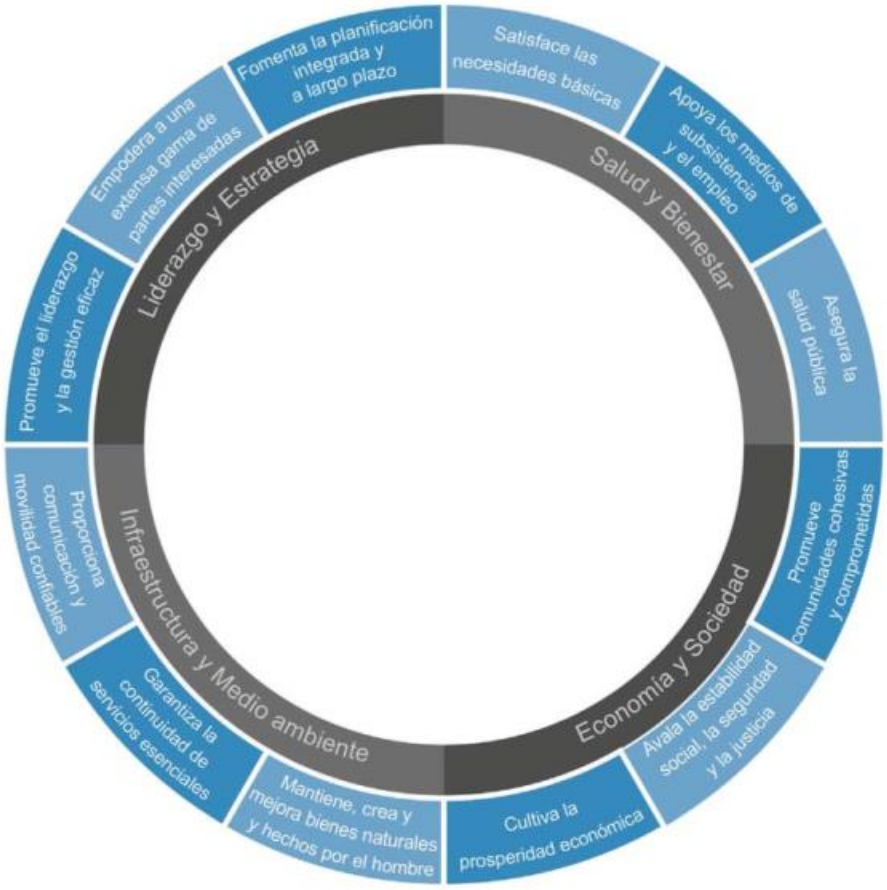

Figura 2.2.2 Marco de la Resiliencia Hídrica Urbana. (ARUP, 2018)

Para impulsar la resiliencia hídrica en la Ciudad de México, se promueven metas como: Reducir la pobreza y la desigualdad hídrica; Promover el uso sustentable del acuífero y contribuir a la planeación de la seguridad hídrica; Fomentar una cultura cívica sobre la sostenibilidad del recurso hídrico; e Integrar infraestructura azul-verde, y un diseño urbano sensible a la situación hídrica, por medio de intervenciones que mejoren la resiliencia. (Oficina de Resiliencia CDMX, 2016)

La infraestructura azul-verde (por sus siglas en inglés, BGI), es la planificación de áreas naturales y seminaturales, interconectadas a cuerpos de agua y a espacios abiertos verdes, que generan diferentes servicios ecosistémicos, o beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. (European Commission, 2013)

Por otra parte, el proyecto Empresas de Servicios de Agua y Saneamiento para la mitigación del cambio climático (WaCCLiM) es una iniciativa conjunta entre la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y la Asociación Internacional del Agua (IWA). Este proyecto forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU) respalda esta iniciativa sobre la base de una decisión adoptada por el Parlamento alemán. WaCCliM adopta una perspectiva circular de la gestión del agua y considera el potencial de la mitigación y la adaptación en todos los componentes del ciclo urbano del agua, que abarca desde el abastecimiento de agua y el tratamiento de las aguas residuales, hasta el reúso del agua. El proyecto ofrece a las empresas de servicios una hoja de ruta para lograr la neutralidad de carbono y la resiliencia a los riesgos climáticos. Un ejemplo en México es en la ciudad de San Francisco del Rincón, en el Estado de Guanajuato, dentro del Sistema Intermunicipal para los Servicios de Tratamiento y Disponibilidad de Aguas Residuales para los Municipios del Rincón (SITRATA) y Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de San Francisco (SAPAF), mejorando la cobertura en el tratamiento de agua residual, e investigando nuevas medidas para reducir las emisiones y costos operativos, y mejorar la resiliencia frente a los riesgos climáticos en los sistemas del organismo operador. (wacclim.org, 2020)

En el marco de la normatividad internacional podemos encontrar ISO 46001:2019 Sistemas de gestión de la eficiencia del agua, teniendo como objetivo el uso eficiente del agua mediante el enfoque de reducir, reemplazar o reutilizar. (GlobalSTD, 2019)

También podemos encontrar directrices para evaluar los servicios de agua potable y de aguas residuales en las normas internacionales ISO 24510/24511/24512, “Actividades relacionadas con el agua potable y los servicios de aguas residuales”; estas normas publicadas en el 2007 y alineadas con los sistemas de indicadores de desempeño para servicios de abastecimiento de agua de la Asociación Internacional del Agua. (IWA, 2017)

En nuestro país contamos con la Norma Mexicana, NMX-AA-149/2-SCFI-2008 Agua Potable, Drenaje y Saneamiento – Eficiencia – Metodología para Evaluar la Eficiencia de los prestadores del Servicio. Parte 2.- Directrices para la Gestión de los Prestadores del Servicio de Agua Potable y para la Evaluación de los servicios de Agua Potable; en donde se marcan las directrices para la gestión y evaluación de los servicios de agua potable.

La Asociación Internacional del Agua, (por sus siglas en inglés, IWA), adopta indicadores de desempeño estandarizados que son los sistemas de indicadores ID, reconocidos como el estándar internacional para la evaluación del desempeño de los servicios de agua urbanos. Los ID de la IWA se han aplicado con éxito como herramienta de gestión, como herramienta para la regulación y políticas públicas y como apoyo para las iniciativas de benchmarking. En un balance hídrico es necesario evaluar las pérdidas de agua, seleccionando indicadores de desempeño de pérdidas de agua, tales como las pérdidas aparentes, y las pérdidas reales. Estas últimas presentan fugas en transporte y/o conducción de distribución, fugas y desbordamiento en transporte y/o depósitos de almacenamiento y fugas en acometidas hasta el punto de medida, según los indicadores ID de la IWA. En este método, el desempeño relacionado con la gestión de las pérdidas de agua debe de medirse desde el punto de vista financiero, técnico y de recursos hídricos. (IWA, 2017) como se muestra en la figura 2.2.3

Figura 2.2.3 Componente del balance hídrico. (IWA, 2017)

2.2.1 Pérdidas reales en el balance hídrico de la IWA

La IWA por sus siglas en inglés (International Water Association), mantiene convenciones internacionales sobre pérdidas de agua, que se imparten por el grupo de especialistas llamado “Water Loss Specialist Group”, la próxima conferencia será del 19 al 22 de junio de 2022 en la ciudad de Praga, Republica de Checa. Es de relevante importancia para el grupo de pérdidas de agua enfocarse en toda el agua que se pierde, principalmente de las fugas subterráneas en las tuberías del servicio de agua, y el efecto de cómo reducir las

pérdidas por medio de la detección y los controles hidráulicos. Uno de los puntos de partida para los organismos operadores, es la identificación de la cantidad de agua que se está perdiendo. El método propuesto por el grupo contabiliza toda el agua que ingresa a un sistema y este método ha sido aceptado en todo el mundo por operadores de los sistemas de agua potable. Al entender que es posible contabilizar toda el agua, la terminología cambió, de agua no contabilizada a agua no facturada, tomando en cuenta las fortalezas y debilidades que se tenga en la medición del vital líquido. Adquiriendo con este método un enfoque estratégico para las empresas de agua potable, y determinando el rumbo en la reducción de las pérdidas. También se identificaron cuatro acciones importantes que se deben de tomar en la reducción de las pérdidas de agua como se muestra en la figura 2.2.2.1, y que conforman un plan estratégico en la reducción del volumen total de agua perdida. El trabajo del grupo de pérdidas de agua refleja que los porcentajes son un método deficiente para medir las pérdidas, y que son utilizados para medir el progreso del organismo operador; o en comparación con otros prestadores de servicios públicos. Identificando la importancia, en contar con datos precisos sobre la medición del flujo en las redes de distribución y en la variación de la presión del agua. Estos factores clave, se deben conocer para ubicar dónde se encuentran la mayoría de las fugas, y para comprender dónde se localizan las fugas y cómo se pueden detener. Aunque se relaciona directamente la sequía con la reducción de las pérdidas de agua, existen varios factores que impactan, como la mejora de la disponibilidad del agua para fines de ingresos, generando un impacto de ahorros en las finanzas de los prestadores de servicio de agua potable, al reducir las pérdidas. Estos efectos se manifiestan en las estructuras de los organismos operadores cómo:

- Tratamiento, finanzas, deuda, depreciación, costo operativo, aplazamiento de capital, extensión de la vida útil de los activos, conocimiento de distribución, velocidad organizacional, comprensión inteligente, desafío de ingeniería,

conocimiento de medición e impactos en el éxito de los planes de gestión y corporativos.

- Impacta en la rentabilidad, tiene menos interrupciones del servicio, produce mejoras en la calidad del agua a través de una menor contaminación, logra la excelencia ambiental y tiene un interés político significativo.

El grupo de pérdidas de agua tiene un enfoque actual sobre la regionalización, solicitando a los líderes que no cuentan con actividades de pérdidas de agua, a crear áreas de influencia en pérdidas para los servicios de agua potable. Finalizando con el desarrollo tecnológico en la gestión de la distribución y la búsqueda de fugas de agua potable, y proporcionando mapas de lo que realmente sucede debajo de las superficies de calles, aceras, etc. (IWA, 2021)

En el manual de buenas prácticas, indicadores de desempeño para servicios de abastecimiento de agua, publicado por la IWA, se enumeran los conceptos de pérdidas de agua.

En este proyecto, se enfocará en la parte de pérdidas reales, para determinar la máxima eficiencia que pueden tener los fraccionamientos nuevos.

Las pérdidas reales que forman parte de un balance hídrico, se evalúan como un volumen perdido en un tiempo determinado, que proceden de las fugas que presenta un sistema de agua potable, y que se estiman hasta el punto de medición para los usuarios, en un sistema presurizado.

Con base a los componentes del balance hídrico propuesto por la IWA, y en su parte de pérdidas reales, encontramos cuatro subdivisiones de pérdidas o fugas.

Las pérdidas reales en conducciones de agua bruta y en tareas de tratamiento (si procede), son las pérdidas de agua potable que pueden existir en las líneas principales o de diámetros mayores, comúnmente llamadas conducciones por su alta capacidad para distribuir

agua potable a diferentes sectores; en las tareas de tratamiento se utiliza agua para limpieza, que el organismo operador puede o no contabilizar.

Las fugas en transporte y/o conducción de distribución, se representan dentro de los sectores configurados para el servicio de agua potable, o red de abastecimiento.

Las fugas y desbordamientos en transporte y/o depósitos de almacenamiento, se localizan en la conducción que llega a los sistemas de almacenamiento de agua potable, en el sector de estudio, y a su vez las fugas que pueda presentar los depósitos de almacenamiento.

Las fugas en acometidas hasta el punto de medida, estas fugas se reconocen por derivar la tubería de la red principal, y conectar la toma de agua potable con el arco que contiene el medidor domiciliario.

2.2.2 Estrategias de gestión de pérdidas reales

La gestión de pérdidas reales puede explicarse en el esquema de la figura 2.2.2.1, en donde las Pérdidas Reales Actuales Anuales, (CARL, Current Annual Real Losses), se ubican en el rectángulo grande, y dentro de este, se encuentran las Pérdidas Reales Inevitables Anuales (UARL, Unavoidable Annual Real Losses). La relación entre el CARL y el UARL se denomina Índice de Fugas en la Infraestructura (ILI, Infrastructure Leakage Index), y se representa con la ecuación siguiente:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL}$$

Existen cuatro componentes fuera del área comprendida para el ILI, llamada Nivel Económico de Fugas (ELL, Economic Level Leakage), que comprende: La Gestión de Presiones, Control Activos de Fugas, Reparaciones Rápidas y de Calidad, y Gestión de Tuberías y Bienes. (The LEAKSSuite Library, 2021)

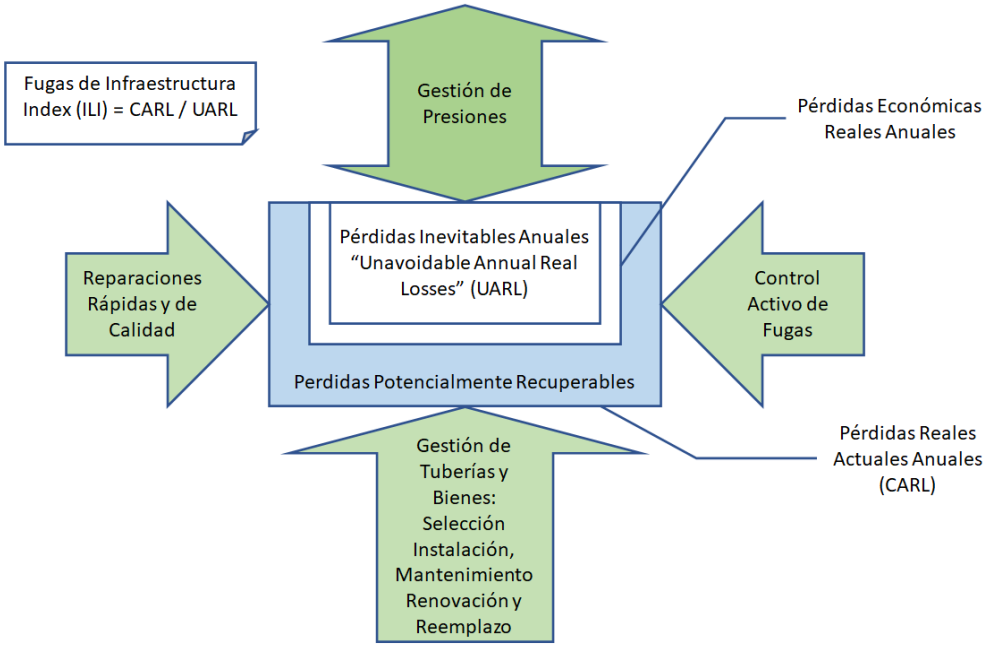

Figura 2.2.2.1 Esquema para la gestión de pérdidas reales. (Lambert & Lalonde, 2005)

La gestión de presiones se encuentra directamente relacionada con la gestión de fugas, al incrementar la presión es inevitable el aumento del gasto en la fuga, por lo tanto, se evidencía que los sistemas tendrán que operarse con niveles óptimos de presiones concretando un adecuado suministro del agua potable.

El control activo de fugas, permite reducir el tiempo en el que se detectan las fugas que se encuentran fuera de la vista, por debajo de la superficie del pavimento, y emplea los recursos del organismo operador como, personal, equipo técnico y fondos económicos para lograr el objetivo de identificar las fugas que no son fáciles de detectar.

La gestión de tuberías y bienes: selección, instalación, mantenimiento, renovación y reemplazo en la infraestructura del sistema, permite sostener el servicio de agua potable, creando un balance económico-financiero, y reduciendo la aparición de las fugas por operación y falta de mantenimiento.

Las reparaciones rápidas y de calidad. El tiempo que transcurre desde que se detecta la fuga hasta su reparación, indica la cantidad de agua que se perdió, además es importante

que el organismo operador este preparado técnica y económicamente para resolver la fuga en un lapso corto de tiempo, y que el personal este capacitado en la reparación de la fuga, asegurando que no provocará una nueva pérdida de agua y manteniendo continuo el servicio en lo que a su tarea lo refiera.

Las pérdidas reales inevitables anuales “UARL” tienen su base en el criterio que es usado en la puntuación del golf, cuantificando el “par” en el juego; adoptando la longitud de las calles (de 1 golpe por 180 metros) y el número de “greens” (2 golpes por green). (The LEAKSSuite Library, 2021)

El grupo de trabajo de la IWA sobre pérdidas de agua, desarrolló una ecuación para pérdidas reales, y proponiendo los valores de los parámetros apropiados para un análisis de pérdidas reales anuales en una infraestructura en buenas condiciones y bien administrada, derivó un cálculo de pérdidas reales anuales inevitables (UARL). (Lambert, Brown, Takizawa, & Weimer, 2020)

La línea base es el marco de referencia que se considera después de estimar distintos indicadores de operación y que definen su eficiencia en la gestión del recurso hídrico, es decir se fija el punto de partida para su mantenimiento o mejoramiento de su eficiencia en la gestión.

2.3 Planteamiento del problema

Es muy común, que se estime la eficiencia física de las redes de agua potable sin tener cómo cuantificar correctamente los volúmenes perdidos por fugas, por lo cual es muy difícil prever cuál será el impacto que se tiene de estos volúmenes perdidos. En nuestro país, al no contar con una norma oficial mexicana, (NOM) de carácter obligatorio; es a juicio del operario seguir las recomendaciones que ofrece la norma mexicana, NMX-AA-149/2-SCFI-2008, Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, que establecen acciones para la evaluación de los servicios de agua potable, pero carecen de autoridad, por no ser de carácter oficial.

Una de las industrias donde se generan una amplia cantidad de datos es la de suministro y distribución de agua potable; sin embargo, estos datos muchas veces son catalogados como “datos oscuros” pues no se establece cómo fueron obtenidos, por lo cual se termina con no ser utilizados o considerarlos no confiables. Esta credibilidad en la generación de datos opaca el resultado y la aportación del conocimiento sobre la problemática. Cuando se han generado datos de manera sistemática por los organismos operadores, a menudo el directivo y/o el operario los ve con escepticismo, por lo cual es común que se examinen, almacenen y terminen por descartarse. (AMH, 2021)

En México, la plataforma PIGGO, propuesta por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), calcula indicadores con información proporcionada por los organismos operadores, mismos, que son responsables de la veracidad y cantidad de la información. Dentro de las bases de datos del sistema PIGGO, y en el cálculo de la eficiencia física, específicamente, para la JMAS de Chihuahua, presentan inconsistencias en los años del 2014 al 2017, en la entrega de la información como se muestra en la figura 2.3.1, y para la eficiencia física 2, en los años 2014 y 2015, observándose en la figura 2.3.2

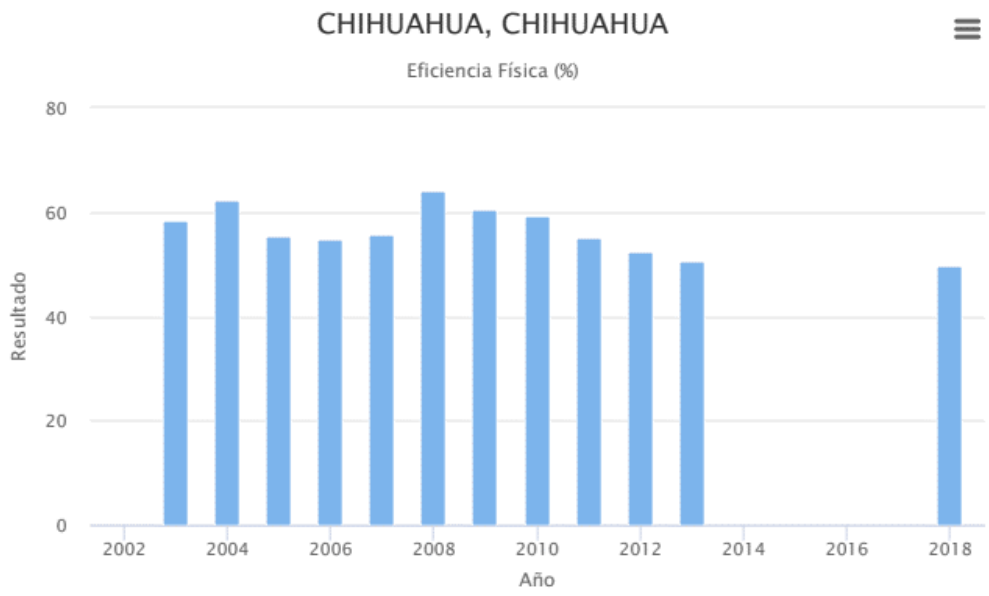

Figura 2.3.1 Eficiencia Física 1 JMAS Chihuahua. (IMTA, 2021)

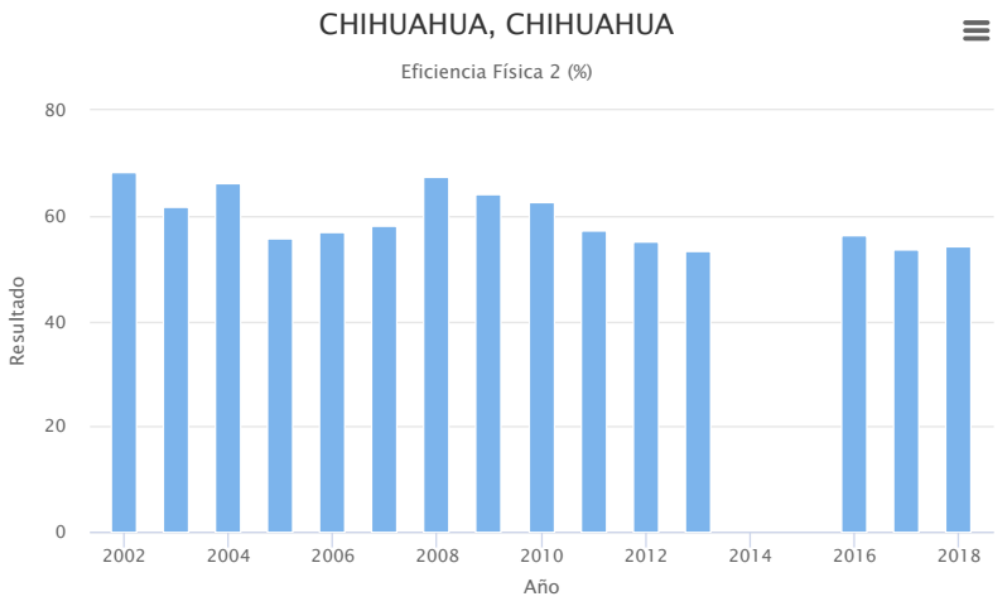

Figura 2.3.2 Eficiencia Física 2 JMAS Chihuahua. (IMTA, 2021)

Estos indicadores son calculados, evaluando la eficiencia entre lo consumido y lo producido (Eficiencia Física 1), como se muestra en la fórmula EFIS 1; y evaluando la eficiencia entre lo facturado y lo producido (Eficiencia Física 2), como se observa en la fórmula EFIS 2. (IMTA, 2021)

$$E_{FIS1} = \frac{V_{CON}}{V_{APP}} * 100$$

En donde:

E_{FIS1} *= Eficiencia Física 1*

V_{CON} *= Volumen de agua consumido* (m^3)

V_{APP} *= Volumen anual de agua potable producido* (m^3)

$$E_{FIS2} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100$$

En donde:

E_{FIS2} *= Eficiencia Física 2*

V_{AF} *= Volumen de agua facturado* (m^3)

V_{APP} *= Volumen anual de agua potable producido* (m^3)

2.4 Justificación

Con esta investigación se busca una línea base para la definición e identificación de la eficiencia física, de esta manera se contará con la capacidad de plantear programas de acciones para mantener esta eficiencia y evitar la pérdida de volúmenes de agua fugados, para implementar en los nuevos fraccionamientos urbanos en la ciudad de Chihuahua.

Capítulo 3: Hipótesis

"Es posible establecer una línea base que determine un sostenimiento de la eficiencia física como parte de la resiliencia hidráulica de la ciudad"

Caso de aplicación, uno de los fraccionamientos urbanos nuevos ubicados en la zona poniente de la ciudad de Chihuahua, donde se utiliza herramientas de gestión como son los indicadores de desempeño, que proporcionan medidas de cuantos recursos se están utilizando en relación con los disponibles, y se determinarán para evaluar los volúmenes de pérdidas de agua, dentro de un balance hídrico. De esta manera nos encontramos en la posición de preguntarnos si: ¿Es posible determinar una línea base para mantener la eficiencia física en la zona poniente o en fraccionamientos nuevos?

3.1 Objetivo general

Determinar la línea base de pérdidas de agua para un sistema de agua potable, con la finalidad de definir el porcentaje mínimo que se puede tener de forma real en un desarrollo habitacional de reciente integración al sistema de agua potable.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar los volúmenes suministrados y demandados en diferentes periodos de tiempo (diario, mensual y anual).
- ✓ Determinar el umbral de línea base mediante la técnica de caudal mínimo nocturno.

- ✓ Calcular la eficiencia física de la red del fraccionamiento Monteverde.
- ✓ Obtener indicadores de desempeño mediante el método de la IWA.
- ✓ Estimar el balance hídrico, que describa la gestión del sistema.

Capítulo 4: Metodología

El siguiente constructo general que se presenta en la figura 4.1, es utilizado para estimar el balance hídrico con el sistema IWA, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el objeto de este proyecto es el bloque de pérdidas reales y determinar la eficiencia física.

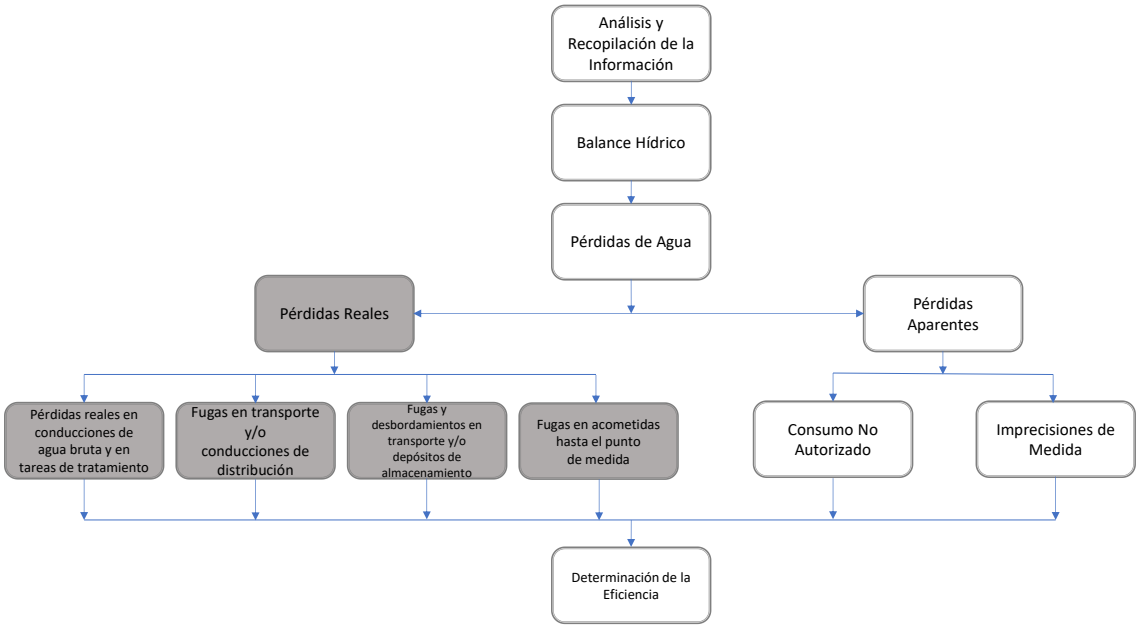

Figura 4.1 Constructo general para el balance hídrico de la IWA

El siguiente esquema muestra los pasos que lleva la metodología del presente proyecto.

1. Recabar y analizar la información del organismo operador, con la finalidad de identificar las bases para el desarrollo del estudio.
2. Generar la información de campo, requerida para complementar el análisis.
3. Analizar la información y determinar su confiabilidad.
4. Calcular los indicadores de eficiencia.
5. Determinar la línea base media.
6. Análisis de resultados
7. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Características hidráulicas y sociales del sector

La zona en estudio se integró al sistema de infraestructura del organismo operador en el año de 2018, y aunque solo existen 1219 cuentas registradas, el fraccionamiento se encuentra en crecimiento continuo; prácticamente el total de sus casas contemplan edificaciones de dos pisos, con un depósito para el almacenamiento del agua, en la parte superior de las casas. Se puede asumir que la categoría del fraccionamiento se clasifica como vivienda media alta, por su vigilancia para los accesos controlada con videocámaras, extensas áreas verdes con ciclo-ruta, y demás comodidades que lo acompañan. Como se puede observar en la figura 4.1.1, la infraestructura hidráulica está conformada por 1454.50 metros de tubería de PVC de 8 pulgadas de diámetro, 935 metros de tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro, 1418 metros de tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 8866 metros de tubería de PVC de 3 pulgadas de diámetro; con un punto de control para administrar presión y caudal, un punto de medición para contabilizar el gasto y un punto crítico para evaluar su comportamiento en el mismo. El sistema de agua potable cuenta con 63 válvulas de seccionamiento, que permiten generar sectores para el control del vital líquido, y 8 hidrantes para el suministro de agua en caso de incendio. (JMAS, 2021)

Con la información del Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chihuahua, Visión 2040, podemos observar que la clasificación habitacional del fraccionamiento es de 26 – 35 viv/ha, en las etapas I, II Y III de Monteverde I, y de 36 – 45 viv/ha, en las etapas I, II y III de Monteverde II, como se observa en la figura 4.1.1 (IMPLAN, 2016). Además, en la figura antes mencionada, se ubican los puntos de control, como el punto de medición y el punto crítico, y se representa la red del sistema de agua potable con diámetros de 3", 4", 6" y 8", mismos que son utilizados para aprovechar la distribución, presión y gasto del flujo en su correcta operación del sistema; esta área de medición de distrito cuenta con las condiciones de ocupación que fueron proyectadas para el fraccionamiento en su total instalación habitacional. (JMAS, 2021)

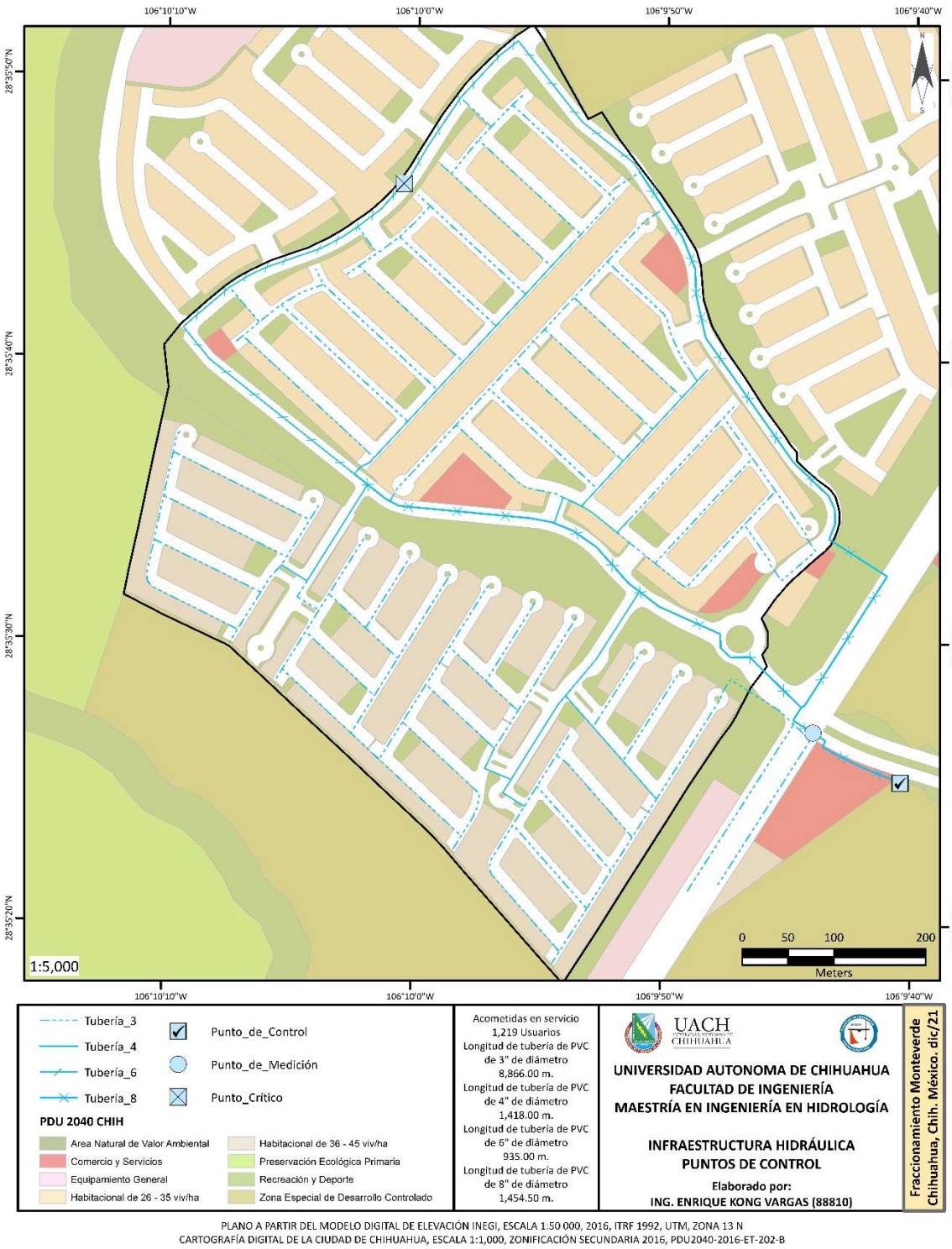

Figura 4.1.1 Infraestructura hidráulica y puntos de control

4.2 Definición de parámetros de consumo de los usuarios del sector

El fraccionamiento se encuentra dividido en dos colonias, Monteverde I y II, con tres etapas cada una, MVI_EI, MVI_EII, MVI_EIII, y MVII_EI, MVII_EII, MVII_EIII; de los 1219 clientes registrados, en el 2018 solo el 44% contaba con micromedición, y esta cobertura fue aumentando gradualmente hasta el 84% de micromedición en agosto de 2021. También en el análisis del padrón de usuarios registrados, se ubicaron lecturas fuera de rango, negativas y consumos muy altos, revisando la eficiencia en la lectura al cliente, se visualiza el modo en el que el sistema se transforma y adquiere su evolución por ser un sistema vivo. Uno de los análisis estadísticos usados fue la obtención de la mediana por representar un valor central en este registro, completando con este valor estadístico las lecturas fuera de rango, generando consumos que son visiblemente actuales a las necesidades de este sistema vivo; también se localizaron tomas que no contaban con un micromedidor instalado, por estar en proceso de ocupación de la unidad habitacional, o por la programación de la instalación de los micromedidores por parte del organismo operador, pero que demandaban un consumo que se podría clasificar bajo, y en este estudio se completó esas lecturas con el valor estadístico de la mediana, evaluando un padrón final de usuarios registrados con consumos adecuados para el sistema de agua potable. La información del registro del padrón de usuarios fue proporcionada por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua, y generada en el periodo de enero de 2018 y hasta agosto de 2021; en el mes de enero de 2021 es posible recabar una mayor información por parte del organismo operador, debido a que, en esta fecha, cuenta con los puntos de control y medición, como se muestra en la figura 4.1.1, para esta área de medición de distrito como son llamadas por sus siglas en inglés “DMA” (District Meter Areas). Este argumento situó el análisis del estudio en el periodo de tiempo, de enero a agosto, del año 2021. El análisis de la información fue evaluado en forma mensual, para después trasladarla a valores diarios en donde los cálculos lo requieran. (JMAS, 2021)

Una vez establecido el periodo de estudio, se recabó información de la Junta Municipal, de presiones aguas abajo y presiones aguas arriba, del punto de control, presión

en el punto crítico, y lecturas del punto de medición para la macromedición. También fue posible obtener las cuentas que presentaron fugas en el medidor, como se muestra en la figura 4.2.1 (JMAS, 2021)

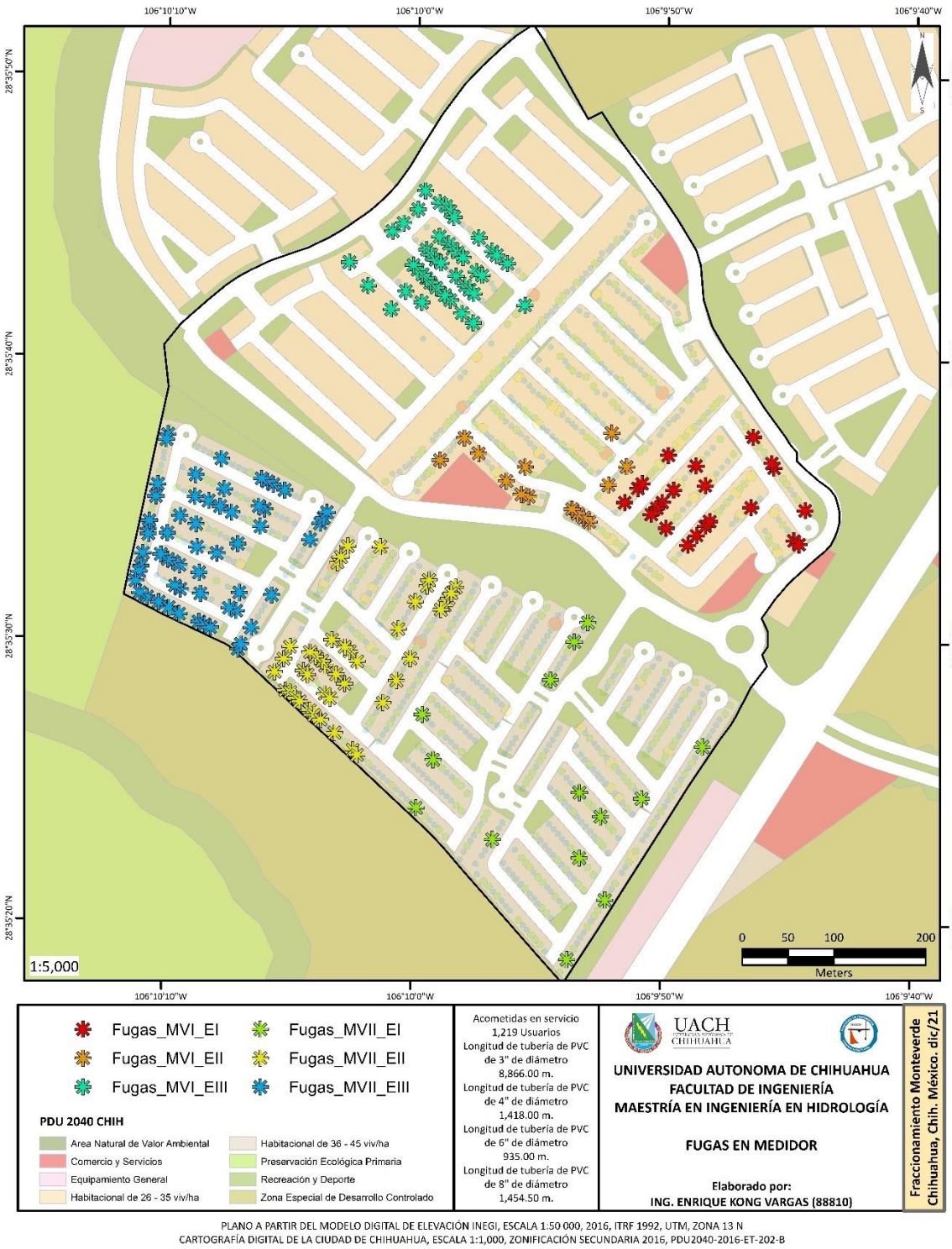

Figura 4.2.1 Fugas en el medidor del fraccionamiento Monteverde

De la Red Climatológica del Estado de Chihuahua, se descargó la temperatura media mensual, que coincide con el periodo de estudio seleccionado, y que registra como el mes de junio, el más cálido en el espacio de tiempo, ubicando el mes de junio para entender este análisis como índice, seleccionando este mes para presentar un mapa de registros de lecturas y clasificación en metros cúbicos como se muestra en la figura 4.2.2 (JCAS, 2021)

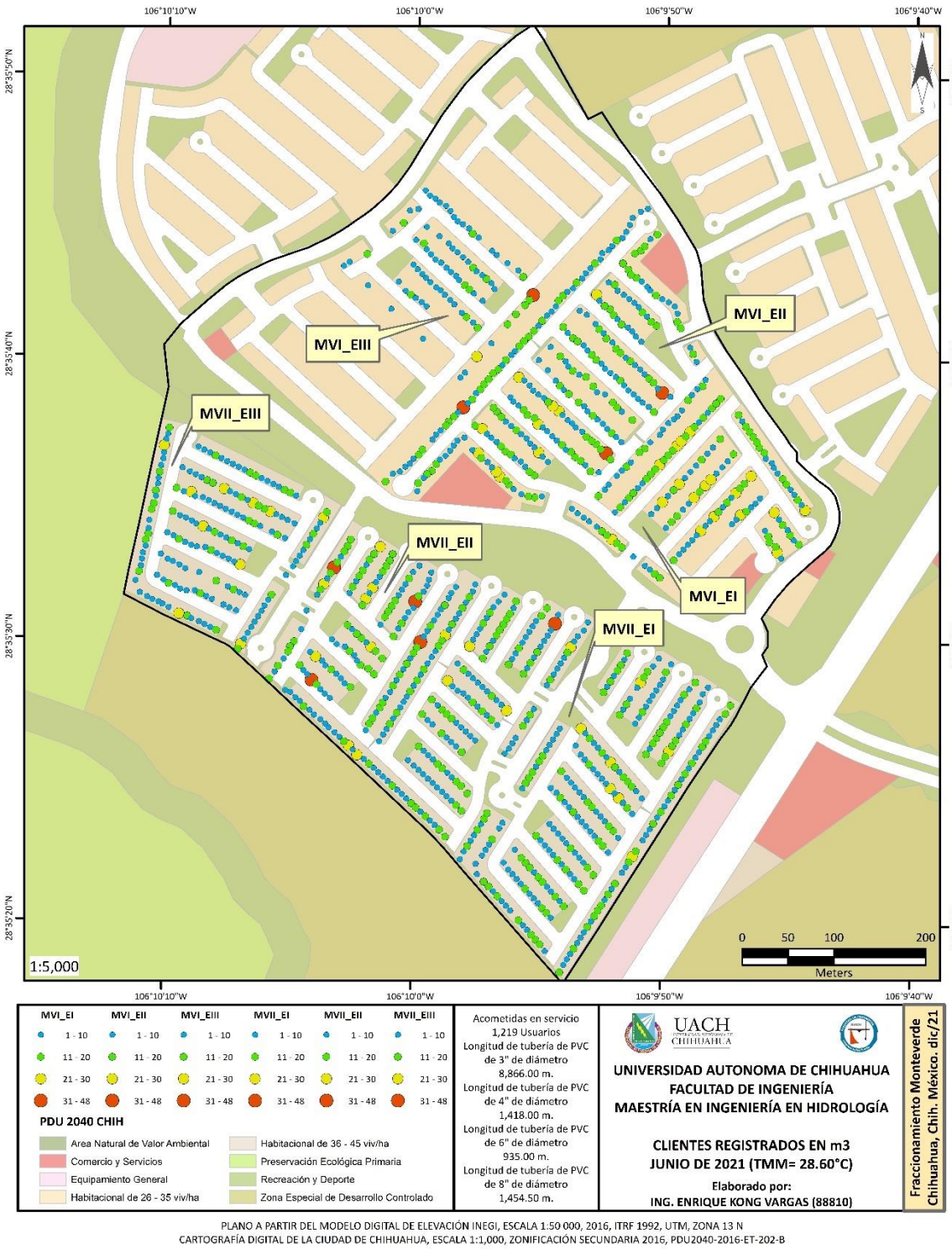

Figura 4.2.2 Lecturas en el mes de junio del fraccionamiento Monteverde

4.2.1 Cálculo de UARL y ILI

Con la información recabada en el organismo operador, contamos con las condiciones para calcular las pérdidas reales de agua (CARL), también se contabilizó la longitud de la red "*Lm*", se identificó la presión máxima aguas abajo del punto de control "*AZP*", y se realizó la modelación el sistema del fraccionamiento Monteverde para comprobar la presión en el punto crítico.

La ecuación lineal estándar para la UARL, Pérdidas Reales Inevitables Anuales *(Unavoidable Annual Real Losses)* propuesta por (Lambert, Brown, Takizawa, & Weimer, 2020), para unidades métricas se expresa de la siguiente forma:

$$UARL\ (m^3/día) = (18\ x\ Lm\ +\ 0.8\ x\ Ns\ +\ 25\ x\ Lp)\ x\ (AZP/1000)$$

En donde:

Lm = Longitud total de la red (km)

Ns = Número de conexiones de servicios

Lp = Longitud total de las conexiones de servicio desde el límite de la propiedad hasta el medidor del cliente (km)

AZP = Presión de funcionamiento media actual (m)

Como se mencionó en el capítulo 2.2.3, la relación entre el CARL y el UARL se denomina Índice de Fugas en la Infraestructura, ILI, (Infrastructure Leakage Index), y se representa con la ecuación siguiente:

$$ILI\ = \frac{CARL}{UARL}$$

En donde:

CARL = Pérdidas Reales Actuales Anuales, (Current Annual Real Losses)

UARL = Pérdidas Reales Inevitables Anuales (Unavoidable Annual Real Losses)

Este índice (ILI) adimensional, permite evaluar las condiciones actuales de la infraestructura del sistema de agua potable, respecto al control y prevención de las fugas. Si el índice excede 1.0, se incrementará en la misma medida la necesidad de mejorar la gestión de pérdidas reales, operando y manteniendo la infraestructura con un control intensivo de fugas y mejorando la velocidad y calidad de respuesta en las reparaciones de las mismas. En la siguiente tabla 4.2.1.1 se describe la evaluación de las pérdidas reales de acuerdo con el esquema de clasificación del World Bank Institute (WBI), para el índice de fugas en la infraestructura ILI.

Tabla 4.2.1.1 Clasificación del ILI de acuerdo con el WBI. (The LEAKSSuite Library, 2021)

Evaluación de las pérdidas reales de acuerdo con el esquema de clasificación WBI

ILI	Clase q_{AL}	Categorías de gestión del rendimiento de pérdidas reales
hasta 2	**A**	**Pérdidas de agua muy bajas**, reducir las perdidas podría ser contraproducente, es necesario analizar antes de ejecutar cualquier acción.
2 a 4	**B**	**Pérdidas de agua medias**, es posible reducir notablemente las pérdidas existentes, mejorando el control de fugas y la gestión de la infraestructura.
4 a 8	**C**	**Pérdidas de agua altas**, analizar el volumen y las razones de las pérdidas, intensificando las acciones para reducir el volumen de agua perdida.
mayor a 8	**D**	**Pérdidas de agua muy alta**, analizar el volumen y las razones de las pérdidas, es necesario ejecutar de inmediato el control y la reducción de fugas.

WBI, World Bank Institute

4.2.2 Caudal mínimo nocturno (MNF) e Índice de caudal nocturno (NFR)

Dentro del control activo de fugas, en el esquema para la gestión de pérdidas reales de la figura 2.2.2.1, se puede localizar el caudal mínimo nocturno, y su interpretación está basado en el caudal que se presenta en el fraccionamiento, en las horas de menor demanda, en el rango de las 10 pm a las 6 am, y que también tiene como referencia un aumento de la

presión, debido a la baja demanda de agua por los usuarios. El NMF (Minimum Night Flow) se representa en un gráfico donde se muestra el caudal suministrado en un determinado tiempo, identificando el menor caudal demandado en la gráfica, y aunque no se dibuja estrictamente como una línea, en su comprensión, se idealiza como una línea recta. Dependiendo de la información del caudal graficado, existen 3 rubros que se ubican debajo de la línea del MNF, las pérdidas de agua por estallidos (Bursts), fugas de fondo (Background Leakage), y uso nocturno doméstico (Normal Night Use). El funcionamiento de un sistema ideal, seria cuando se presentara solo el uso nocturno doméstico (NNU), lo que se torna poco probable. La diferencia entre el caudal mínimo nocturno y el uso nocturno doméstico, es indicativo de un problema de fugas. (IWA Water Loss Speciallist Group, 2021)

Otro indicador que se incluye, es el índice de caudal nocturno (Night Flow Ratio), el cual se deriva dividiendo el caudal mínimo nocturno (Minimum Night Flow) y la demanda promedio diaria (Average Daily Demand); este índice se encuentra relacionado con la zona en estudio y se modifica con el tiempo, y evidencia la posibilidad de un problema de fugas en la zona. Si el índice de caudal nocturno se aproxima a 1.0, aumenta la probabilidad de que exista un problema de fugas en la zona. De cualquier manera, el caudal mínimo nocturno, es claro en especificar el gasto que se debe de esperar, para la zona que se desea estudiar. (IWA Water Loss Speciallist Group, 2021)

El caudal mínimo nocturno, es indicativo de una baja demanda de agua por las noches, en donde los usuarios utilizan el vital líquido solo cuando se encuentran despiertos; lo que dependerá de las actividades socioeconómicas de las comunidades, un ejemplo seria la ciudad de las Vegas, en Nevada, E.U.

4.3 Análisis de integración de características, hidrosociales y de operación

La recolección de los datos, fue en un número de conexiones de los servicios (Ns) de 1219, una longitud total de las conexiones de servicio desde el límite de la propiedad hasta el medidor del cliente (Lp) de 0.00 metros, una longitud total de la red (Lm) de 12.67

kilómetros, y una presión de funcionamiento media actual (AZP) de 34 metros; esta presión se seleccionó por presentarse junto con el caudal máximo en el periodo de estudio, y cumplir con los parámetros establecidos para el cálculo de la UARL. En la tabla 4.3.1 que se presenta a continuación se describe el cálculo de la ecuación lineal estándar para las pérdidas reales inevitables, en donde el valor de la variable Lp se asume igual a cero, cuando la conexión típica de la casa, ubica al medidor inmediatamente sobre la banqueta, como se observa en la figura 4.3.2 que se presenta debajo de la siguiente tabla.

Tabla 4.3.1 Cálculo de la UARL. (Lambert, Brown, Takizawa, & Weimer, 2020)

UARL (Unavoidable Annual Real Losses)

Cálculo de UARL	**UARL (Usgal/día) = (5.4 x Lm + 0.15 x Ns + 7.5 x Lc) x AZP**			
Ecuación lineal estándar	**UARL (M3/día) = (18 x Lm + 0.8 x Ns + 25 x Lp) x AZP/1000**			
Conexiones de servicio	Sección de datos de entrada			
Componentes de infraestructura y cálculos de UARL lineal estándar				
	US unidades		Métrico unidades	
Número de servicios **"Ns"**, principal hasta el límite de la propiedad o la parada de la acera	Cantidad	1,219	**1,219**	Cantidad
Servicios, línea de propiedad o tope de acera **"Lp"**	ft/conexión	0.00	**0.00**	m/conexión
	Millas	0.00	0.00	Km
Longitud de la red **"Lm"**	Millas	7.87	**12.67**	Km
Densidad de conexiones por longitud de red "Dc"	por Millas	154.79	96.18	por Km
Presión media de la zona **"APZ"**	psi	48.36	**34**	metros
Real Anual Inevitable Pérdidas UARL	Usgalpd	**10,899**	**41**	m^3/día

(Lambert, Brown, Takizawa, & Weimer, 2020)

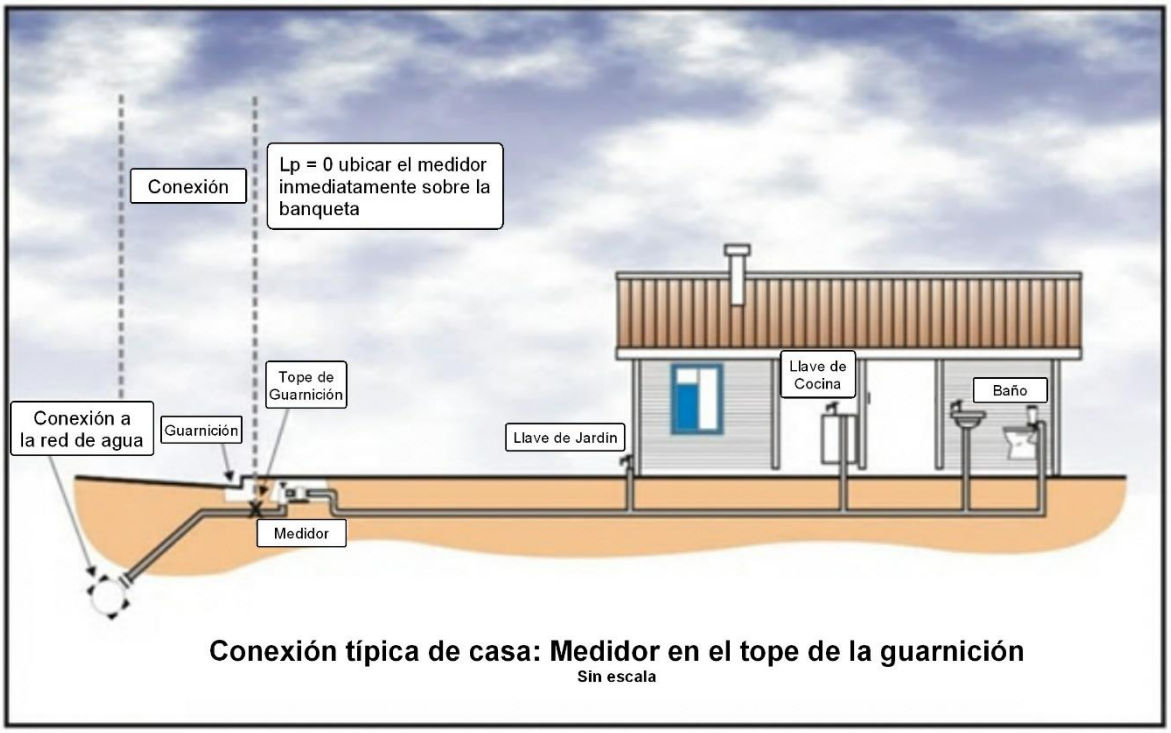

Figura 4.3.2 Conexión típica de casa con medidor sobre la banqueta. (AWWA, 2022)

Mediante el método para el cálculo de la UARL pérdidas reales anuales inevitables, se obtiene un índice de 41 m^3/día.

Con esta información calculada, de la UARL, se continua con la integración del balance del fraccionamiento Monteverde dentro del periodo de estudio justificado, anexando las variables de temperatura media mensual, y demás datos de control del organismo operador.

El balance, indica la representación del comportamiento del fraccionamiento Monteverde, como un sistema vivo, adquiriendo su validez, conforme aplicamos controles de operación y mantenimiento en la red de agua potable, e identificando los índices calculados, como medidas de resiliencia hídrica, en la eficiencia del suministro del vital líquido. En la siguiente tabla 4.3.3 se describe el balance hídrico del fraccionamiento Monteverde dentro de un periodo de 8 meses, de enero a agosto y en el año 2021, en donde las variables conforman el índice de fugas en la infraestructura, y es posible revisar la eficiencia física del sistema.

Tabla 4.3.3 Balance del fraccionamiento Monteverde

Balance Fraccionamiento MonteVerde

ID	Variables		ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21
C24	Clientes regístrados		1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	**1,219**	1,219	1,219
C13	Medidores de nivel de agua		982	996	984	1,007	1,009	**1,010**	1,019	1,019
	Cuentas sin medidor		237	223	235	212	210	**209**	200	200
	Micromedición	%	81%	82%	81%	83%	83%	**83%**	84%	84%
	Mediana	m^3	11	11	10	10	10	**10**	13	10
A3	Macromedición	m^3	16,921.31	15,115.58	17,004.39	16,984.19	18,798.98	**20,233.60**	18,319.40	17,970.10
A8	Lectura con mediana	m^3	14,720	14,135	13,257	12,884	12,375	**13,270**	17,029	12,952
A15	(CARL) Pérdidas reales	m^3	2,201	981	3,747	4,100	6,424	**6,964**	1,290	5,018
	Temperatura media mensual	°C	9.70	14.77	17.72	22.26	26.02	**28.60**	25.99	25.38
	Eficiencia física calculada	%	87%	94%	78%	76%	66%	**66%**	93%	72%
UARL	Pérdidas reales inevitables	m^3/día	41	41	41	41	41	**41**	41	41
ILI	Infrastructure Leakage Index		1.7	0.9	3.0	3.3	5.1	**5.7**	1.0	4.0

(JMAS, 2021)

Capítulo 5: Resultados

De acuerdo a la metodología presentada y a los objetivos planteados podemos revisar que los volúmenes suministrados y demandados proporcionan una eficiencia física para el sistema de agua potable superior al 66%, con un valor máximo de 94%. Para la determinación del umbral de línea base mediante la técnica de caudal mínimo nocturno, se consideraron la variabilidad en forma diaria de la presión y del caudal suministrado al fraccionamiento, en donde, se ubica el caudal que se presenta por las noches y una parte de la madrugada; este caudal se observa cuando se identifica una demanda mínima por los usuarios del sistema, graficándolo durante un tiempo determinado de estudio y ubicando su valor en 8 m^3/h.

Como se destaca en la gráfica 5.1, en donde se representa la relación de presión aguas abajo versus caudal máximo, se localiza la presión máxima de operación presentada en el punto de control, que es de 34.3 metros. Como ya se mencionó antes se le denomina punto de control, al punto de suministro o de entrada al fraccionamiento. Los datos de la gráfica se ordenaron de menor a mayor, sobre la variable de presión, y se clasificaron solo los valores en el tiempo donde se presentó el caudal máximo, en el periodo de enero a agosto de 2021.

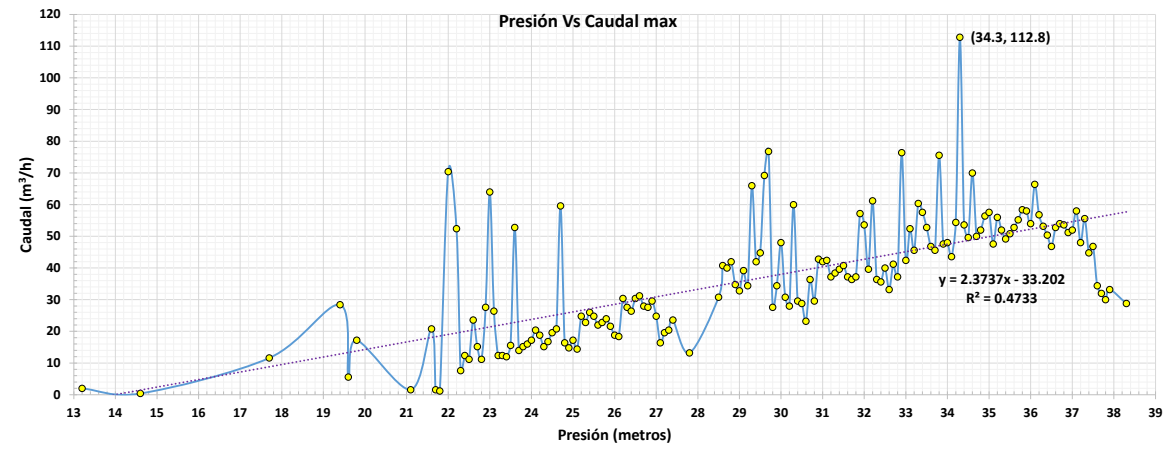

Figura 5.1 Gráfico de presiones aguas abajo vs caudal máximo

Por otra parte, el coeficiente de determinación, se sitúa más cercano a 0, lo que significa que se aleja de una relación lineal perfecta; en otras palabras, el modelo matemático presenta un ajuste del 47% a la línea recta. Por lo que su ajuste presenta más una log-normalidad de forma representativa.

La gráfica 5.2 presenta un resumen de los puntos de control, en el periodo establecido de enero a agosto de 2021. La presión aguas abajo y la presión en el punto crítico, siguen un patrón semejante; y se promovió la media móvil del caudal, de 8 periodos, por referirse a los 8 meses del tiempo de estudio.

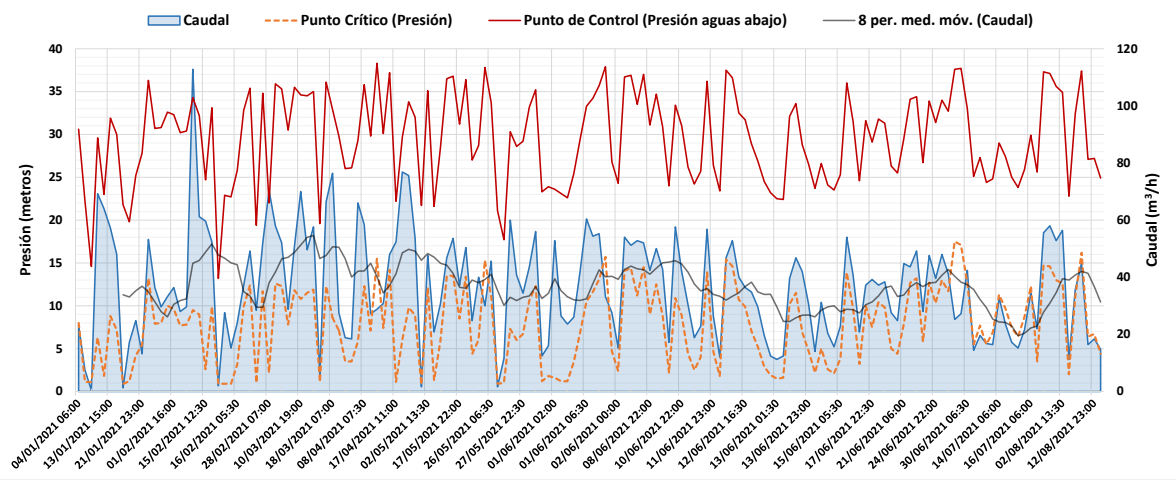

Figura 5.2 Gráfica de los puntos de control.

En la primera quincena del mes de febrero de 2021, se grafica el caudal máximo de operación de 112.8 m^3/h, que coincide con la presión de 34.3 metros aguas abajo.

La gráfica 5.3, compara los resultados obtenidos en el mes de junio, por ser el mes donde la temperatura media mensual alcanza su valor más alto, para este estudio. Se ubican los valores de las presiones aguas abajo y aguas arriba, del punto de control, así como el caudal demandado.

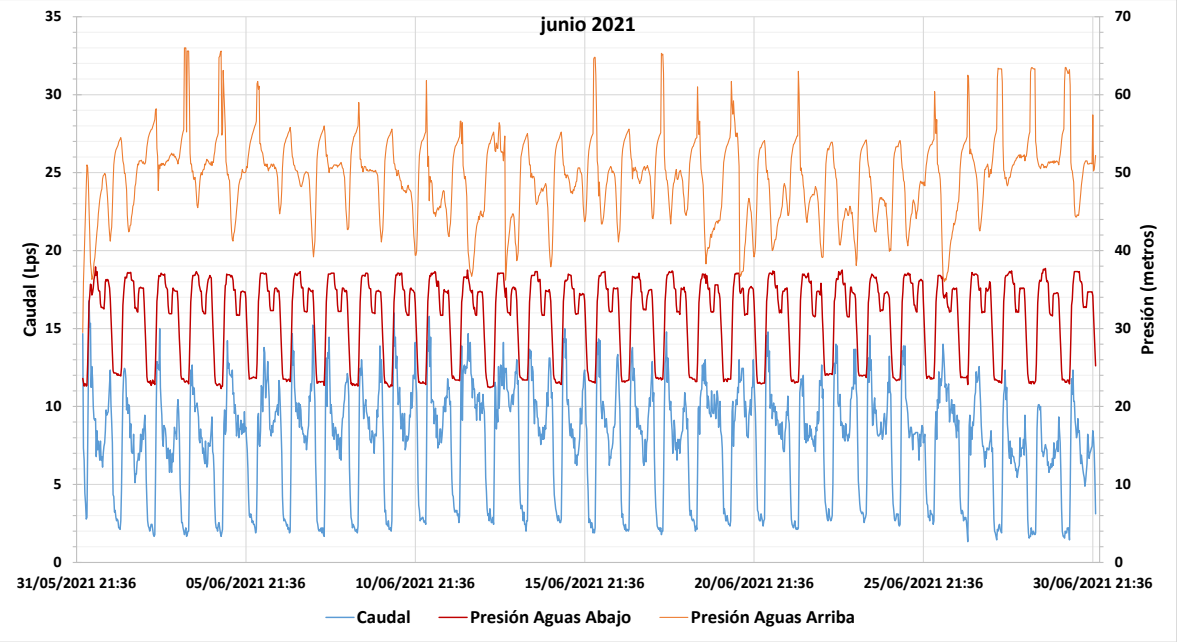

Figura 5.3 Gráfica de caudal y presión en el mes de junio de 2021

El gráfico superior muestra la operación del sistema de agua potable, en donde se controla la presión aguas abajo (línea de color rojo), dotando de la presión necesaria a los usuarios en el periodo de tiempo (horas en el día), en que la demanda de presión y caudal sea requerida.

Los indicadores de desempeño mediante el método de la IWA, se muestran a partir de la gráfica 5.4, en donde podemos establecer el caudal mínimo nocturno (MNF), bajo las condiciones del capítulo 4.2.2, así como la demanda media diaria (ADD), y analizar el índice de caudal nocturno con un valor de 0.29, para el mes de junio de 2021.

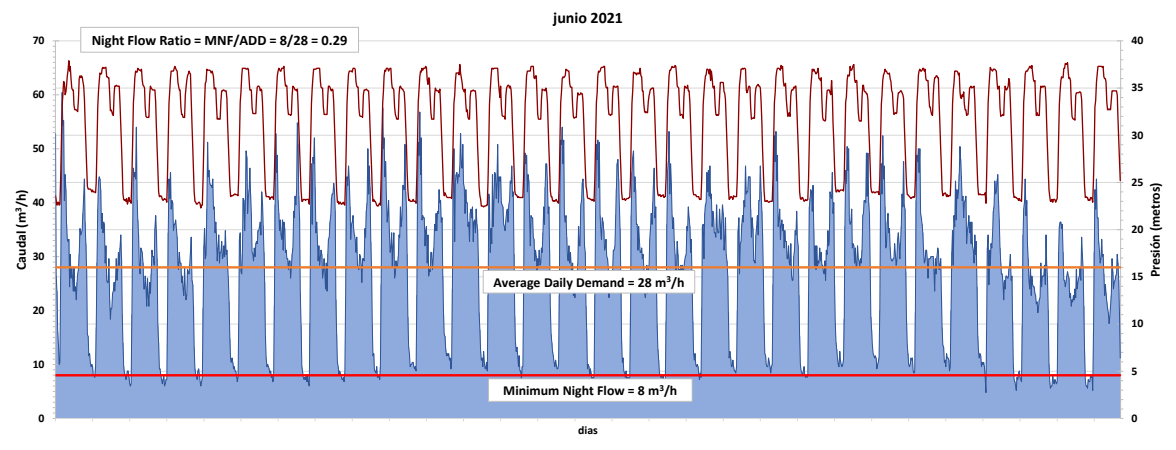

Figura 5.4 Gráfica del caudal mínimo nocturno (MNF)

La demanda media diaria (ADD) se obtuvo del análisis de la información proporcionada por el organismo operador de Chihuahua. El caudal mínimo nocturno (MNF) se ubica en el valor de 8 m^3/h, lo que representa 0.0066 m^3/h*cuenta o 6.6 l/h*cuenta, un valor que, a consideración de las condiciones en estudio, se puede catalogar como adecuado. El índice de caudal nocturno, que se ubica en 0.29, representa las condiciones de nuestra zona, y en el continente americano, que el problema de fugas se puede estimar como bajo, sin embargo, este índice se debe de considerar relacionando, el caudal mínimo nocturno (MNF) y el Índice de Fugas en la Infraestructura, (ILI), todo en conjunto, teniendo un panorama completo de la zona en estudio en el tiempo que se seleccionó para el análisis. (IWA Water Loss Speciallist Group, 2021)

La siguiente gráfica 5.5, ilustra la relación que existe entre la temperatura media mensual y las pérdidas reales de agua (CARL), durante el periodo de estudio de enero a agosto de 2021.

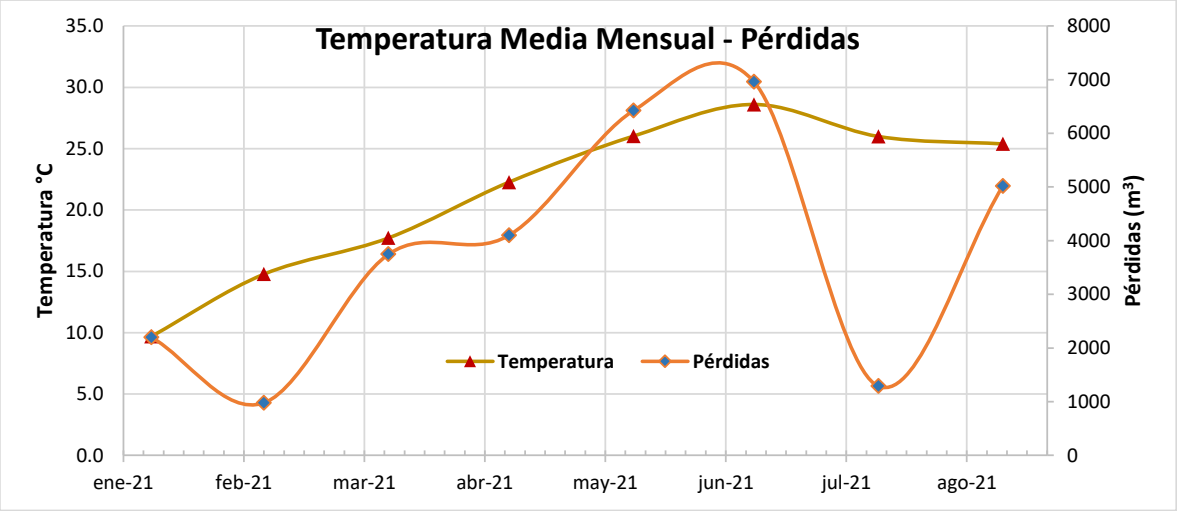

Figura 5.5 Gráfica de la temperatura media mensual y las pérdidas reales de agua.

Los datos mencionados en la tabla 4.3.3 del balance del fraccionamiento Monteverde se dibujan en este gráfico, evidenciando la relación entre el aumento de la temperatura con el aumento de los metros cúbicos de pérdidas reales de agua.

La estimación de la eficiencia física de la red del fraccionamiento Monteverde se presenta asumiendo los valores del volumen de agua consumido y el volumen de agua producido, y sus porcentajes varían del mes de enero a al mes de agosto en 87%, 94%, 78%, 76%, 66%, 66% 93% y 72% para el año del 2021, estos valores son validados dependiendo de las condiciones internas, y externas como la temperatura media mensual, que afectan al sistema de agua potable, y que se pueden observar en la tabla 4.3.3 del balance del fraccionamiento Monteverde.

En la gráfica 5.6, se muestra la relación de la temperatura media mensual, que mantiene un patrón preponderante en la eficiencia física, y se aprecia en el periodo seleccionado para el estudio.

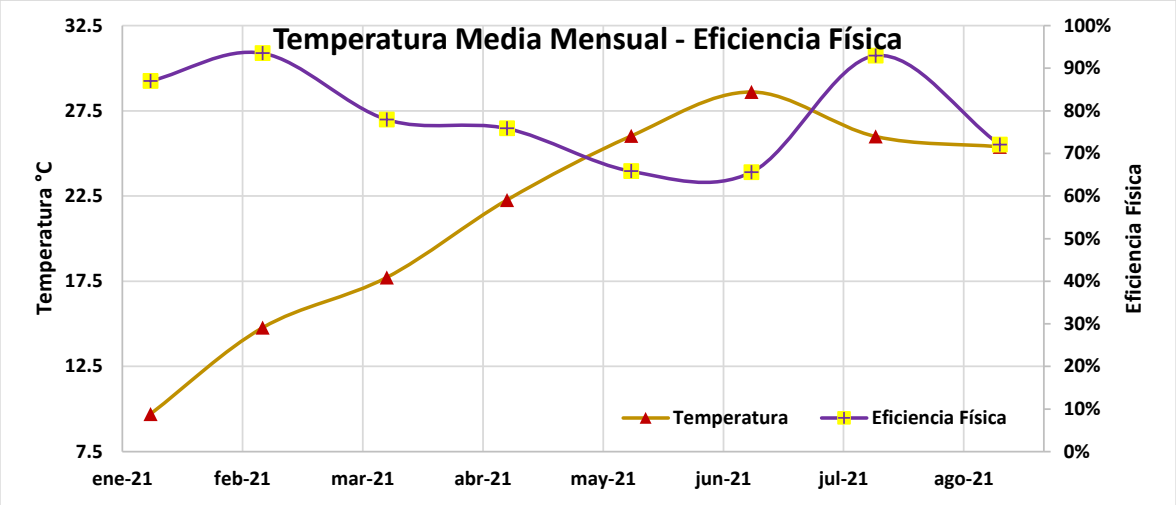

Figura 5.6 Gráfica de la temperatura media mensual y la eficiencia física del sistema

Es evidente el impacto de la temperatura media mensual, bajo la eficiencia física, el aumento de la eficiencia física señala la disminución de la temperatura media mensual. La eficiencia física comprende su relación entre la macromedición vs la micromedición, dictando un gradiente mínimo para el éxito de la eficiencia física, y que los datos se pueden revisar en la tabla 4.3.3 del balance del fraccionamiento Monteverde.

Los resultados del análisis en el capítulo 4.2.1, se observan en la gráfica 5.7, presentando, la relación directa entre el índice de fugas en la infraestructura (ILI) y la eficiencia física del sistema.

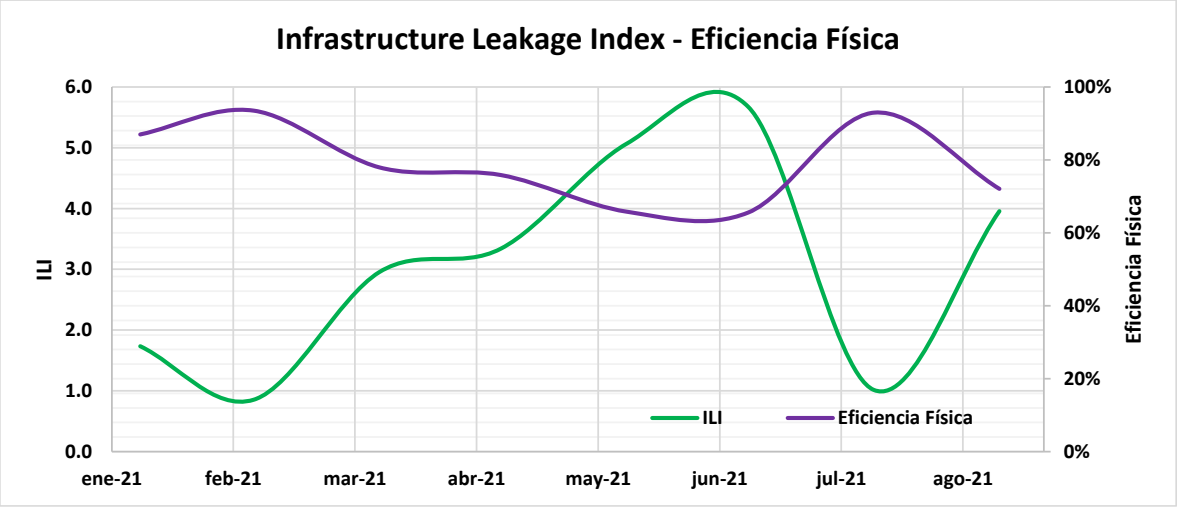

Figura 5.7 Gráfica del índice de fugas en la infraestructura (ILI) y la eficiencia física

La estimación del balance hídrico presenta el comportamiento del sistema en el periodo de tiempo seleccionado para el estudio, observando los volúmenes suministrados diarios y mensuales para las lecturas máximas, mínimas y promedios calculados conforme a la información del organismo operador. El valor de la lectura mensual promedio del periodo de enero a agosto de 2021 usando el estadístico de la mediana se ubica en 10.63 m^3; además, compara los valores de la ecuación lineal estándar UARL, con los valores del índice de fugas en la infraestructura, y le eficiencia física del sistema como se muestra a continuación en la tabla 4.3.4

Tabla 4.3.4 Estimación del Balance Hídrico

Estimación del Balance Hídrico

ID	Variables		ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21
	Demanda promedio diaria	m^3	0.39	0.41	0.35	0.35	0.33	**0.36**	0.45	0.34
	Demanda máxima diaria	m^3	2.45	2.25	1.23	1.87	1.90	**2.73**	3.16	1.55
	Demanda mínima diaria	m^3	0.032	0.036	0.032	0.033	0.032	**0.033**	0.032	0.032
	Demanda promedio mensual	m^3	12.08	11.60	10.88	10.57	10.15	**10.89**	13.97	10.63
	Demanda mediana mensual	m^3	11.00	11.00	10.00	10.00	10.00	**10.00**	13.00	10.00
	Demanda máxima mensual	m^3	76	63	38	56	59	**82**	98	48
	Demanda mínima mensual	m^3	1	1	1	1	1	**1**	1	1
	Volumen suministrado diario	m^3	546	540	549	566	606	**674**	591	580
A3	**Macromedición (suministrado)**	m^3	16,921.31	15,115.58	17,004.39	16,984.19	18,798.98	**20,233.60**	18,319.40	17,970.10
A8	**Lectura con mediana (demandado)**	m^3	14,720	14,135	13,257	12,884	12,375	**13,270**	17,029	12,952
A15	**(CARL) Pérdidas reales**	m^3	2,201	981	3,747	4,100	6,424	**6,964**	1,290	5,018
	Eficiencia física calculada	%	87%	94%	78%	76%	66%	**66%**	93%	72%
UARL	**Pérdidas reales inevitables**	m^3/día	41	41	41	41	41	**41**	41	41
ILI	**Infrastructure Leakage Index**		1.7	0.9	3.0	3.3	5.1	**5.7**	1.0	4.0

(JMAS, 2021)

El índice de fugas en la infraestructura calculado en la tabla 4.3.4 de la estimación del balance hídrico del fraccionamiento Monteverde, modela en el periodo de estudio, un comportamiento que se debe de relacionar con la tabla 4.2.1.1, con la finalidad de obtener las recomendaciones a seguir según el World Bank Institute (WBI). La gráfica 5.7 muestra que cuando el índice (ILI) disminuye, la eficiencia física aumenta, generando un sistema casi exento de pérdidas de agua, o por lo menos, las pérdidas más bajas posibles. Todos los sistemas de agua potable son sistemas vivos, que van creciendo con la demanda e intercambian variables según, sea estresado el sistema, por lo tanto, el visualizar todas las variables e índices, predice como es que los sistemas de agua potable adquieren un factor de resiliencia hídrica, mejorando las condiciones de servicio para los usuarios, lo que se traduce en una mejor calidad de vida.

La línea base de pérdidas para el sistema de agua potable del fraccionamiento Monteverde se ubica en un valor de 5 m^3/h, este resultado se visualiza en la figura 5.8 que se presenta a continuación; en la gráfica también podemos observar las variaciones entre el porcentaje que representa para el caudal mínimo nocturno de 8 m^3/h y el caudal máximo de 57 m^3/h de los días 10 y 11 del mes de junio con un valor del 14%; y para la relación de la

línea base de pérdidas de 5 m^3/h y caudal mínimo de 37 m^3/h de los días del 28 al 30 del mismo mes con un valor de 13.5%. Los dos resultados analizados se localizan por debajo del valor del 15% que la IWA propone para el caudal mínimo nocturno (MNF) respecto al caudal máximo demandado.

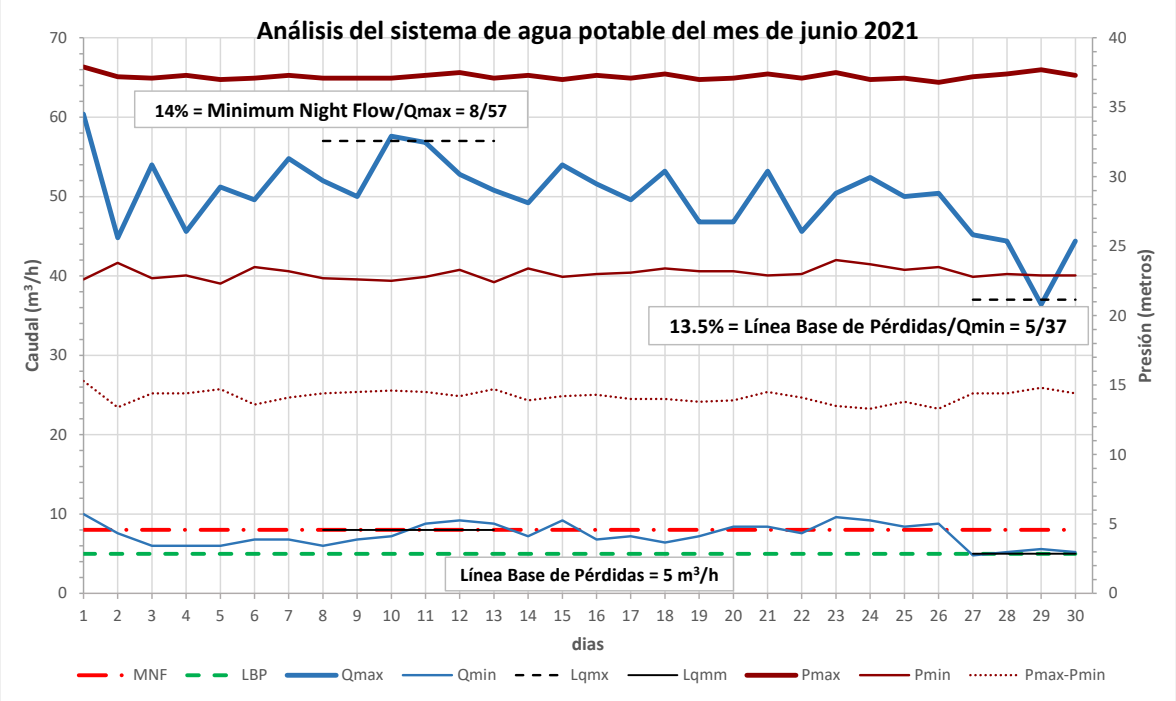

Figura 5.8 Gráfica del análisis del sistema de agua potable del mes de junio de 2021

En la siguiente tabla 4.3.5 se puede revisar el control de presiones que es operado en el fraccionamiento Monteverde en el mes de junio de 2021, en donde la presión máxima se ubica con un valor de 37 metros, y la presión mínima con un valor de 23 metros para el caudal mínimo nocturno, la diferencia entre estas presiones proporciona un rango de operación de 14 metros para el sistema de agua potable. Los valores de las presiones máximas y mínimas presentados en la gráfica 5.8 y en la tabla 4.3.5 conforman el control de presiones que es registrado en el punto de suministro o punto de entrada al fraccionamiento.

Tabla 4.3.5 Análisis del sistema de agua potable del mes de junio de 2021

Análisis del sistema de agua potable del mes de junio 2021

junio dia	MNF m^3/h	LBP m^3/h	Qmax m^3/h	Qmin m^3/h	Q min/max	Pmax m	Pmin m	P(max-min) m
1	8	5	60.4	10	17%	37.9	22.6	15.3
2	8	5	44.8	7.6	17%	37.2	23.8	13.4
3	8	5	54	6	11%	37.1	22.7	14.4
4	8	5	45.6	6	13%	37.3	22.9	14.4
5	8	5	51.2	6	12%	37	22.3	14.7
6	8	5	49.6	6.8	14%	37.1	23.5	13.6
7	8	5	54.8	6.8	12%	37.3	23.2	14.1
8	8	5	52	6	12%	37.1	22.7	14.4
9	8	5	50	6.8	14%	37.1	22.6	14.5
10	8	5	57.6	7.2	13%	37.1	22.5	14.6
11	8	5	56.8	8.8	15%	37.3	22.8	14.5
12	8	5	52.8	9.2	17%	37.5	23.3	14.2
13	8	5	50.8	8.8	17%	37.1	22.4	14.7
14	8	5	49.2	7.2	15%	37.3	23.4	13.9
15	8	5	54	9.2	17%	37	22.8	14.2
16	8	5	51.6	6.8	13%	37.3	23	14.3
17	8	5	49.6	7.2	15%	37.1	23.1	14
18	8	5	53.2	6.4	12%	37.4	23.4	14
19	8	5	46.8	7.2	15%	37	23.2	13.8
20	8	5	46.8	8.4	18%	37.1	23.2	13.9
21	8	5	53.2	8.4	16%	37.4	22.9	14.5
22	8	5	45.6	7.6	17%	37.1	23	14.1
23	8	5	50.4	9.6	19%	37.5	24	13.5
24	8	5	52.4	9.2	18%	37	23.7	13.3
25	8	5	50	8.4	17%	37.1	23.3	13.8
26	8	5	50.4	8.8	17%	36.8	23.5	13.3
27	8	5	45.2	4.8	11%	37.2	22.8	14.4
28	8	5	44.4	5.2	12%	37.4	23	14.4
29	8	5	36.4	5.6	15%	37.7	22.9	14.8
30	8	5	44.4	5.2	12%	37.3	22.9	14.4

(JMAS, 2021)

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados de las tablas y gráficos del capítulo 5, se concluye que el volumen suministrado presenta en el mes de febrero de 2021 el valor más bajo con 15115.58 m^3, y en el mes de junio el valor más elevado que coincide con el mes más caluroso con 20233.60 m^3.

La variación de los volúmenes demandados no presenta un comportamiento homogéneo, el valor mínimo se ubica en 12,375 m^3 en el mes de mayo de 2021 y el valor máximo en 17029 m^3 en el mes de julio del mismo año, esta variación de la demanda tendría su causa posible, debido a que el fraccionamiento continúa en proceso de ocupación o adaptación, por ser de reciente integración al sistema de agua potable, en donde las casas habitacionales solicitan agua en el momento en que son ocupadas.

La técnica del caudal mínimo nocturno (MNF), advierte un umbral de la línea base de pérdidas, ubicando su valor en 5 m^3/h, este valor se encuentra por debajo del 15% del caudal demandado que es propuesto por la IWA, y que en este estudio se observa en 13.5% del caudal demandado que es de 37 m^3/h, proporcionando un manejo aceptable de esta línea base.

El cálculo para la estimación de la eficiencia física del fraccionamiento Monteverde, presenta un valor de 66%, es el más bajo en el periodo de estudio, en el mes de junio de 2021 y que también es el mes más caluroso; así mismo el porcentaje más elevado es en el mes de febrero con un dato del 94% para la eficiencia física del sistema de agua potable. La relación del volumen demandado y el volumen suministrado, implica la concentración de varios factores que al ser estresados causarían una disminución de la eficiencia física en el sistema.

Los indicadores de desempeño de la IWA, que fueron analizados en este estudio, valoran el comportamiento del sistema del fraccionamiento Monteverde, encontrando al índice de caudal nocturno (NFR) de 0.29, y el Índice de Fugas en la Infraestructura (ILI) de 5.7 para el mes de junio de 2021, estos valores en conjunto predicen que el volumen de agua y las razones de las pérdidas se deben de revisar, e identificar las acciones para reducir los posibles volúmenes de agua perdida.

En conjunto, la estimación del balance hídrico, ubica la estructura interna del sistema de agua potable del fraccionamiento Monteverde, y sus afectaciones externas como el clima, en donde, el mes de junio de 2021 presenta la eficiencia física con un porcentaje más bajo del 66%, un índice de fugas en la infraestructura (ILI) con un valor punta de 5.7, unas

pérdidas reales de agua (CARL) con un valor más alto de 6964 m^3 y un volumen suministrado con un dato que culmina en 20233.6 m^3, como se observó antes, estos valores son los extremos en el periodo de estudio. El mes de junio exhibe el estrés que se puede presentar en un sistema de agua potable, y que en este estudio presenta un valor de frontera máximo para el fraccionamiento.

La diferencia de 3 m^3/h, sobre el caudal mínimo nocturno (MNF) contra la línea base de pérdidas (LBP), sugiere que el caudal pertenece a usos no necesarios, o como se describió en el capítulo 4.2.2; este caudal podría tener su origen en las fugas de fondo (Background Leakage).

Podemos concluir a partir de los datos, que la eficiencia física en seis de los ocho meses del periodo de estudio, presenta valores aceptables por encima del 72%, sin embargo, en los meses más cálidos, los valores se reducen al 66%, lo que en conjunto se observa un buen comportamiento de la eficiencia física, para el fraccionamiento. También es importante resaltar que el valor de 5 m^3/h, que estima la línea base de pérdidas (LBP), permite definir un control del comportamiento del sistema, y a su vez identifica las acciones que pueden tomarse en la detección de pérdidas de volúmenes de agua.

Una de las recomendaciones del grupo de especialistas en pérdidas de agua de la IWA, es mantener por lo menos cada 6 meses, una revisión sobre los DMA, (District Meter Areas), con este tipo de indicadores de desempeño, debido a que los sistemas permanecen en constante desarrollo (sistemas vivos), y que cada modificación presentaría variación en los resultados, que de ser asertivas estaríamos en el camino de la resiliencia hídrica urbana.

Capítulo 7: Aportaciones y líneas futuras de investigación

Adoptar el sistema de factores de corrección, (SCF) por sus siglas en inglés, “System Correction Factor”, analizando las descargas de área fija y variable (FAVAD) “Fixed and Variable Area Discharges”, la distribución de la probabilidad de “Poisson” para bajos eventos de estallidos en sistemas pequeños, y las presiones de ráfagas “Bursts”. El sistema de factores

de corrección permite lograr volúmenes de la UARL con mayor precisión, abarcando las variaciones de los datos que pueden presentarse en diferentes sistemas.

Bibliografía

AECID. (2015). SOSTENIBILIDAD Y MODELOS DE GESTIÓN DE LOS SISTEMAS RURALES DE AGUA POTABLE. *MANUALES COOPERACIÓN ESPAÑOLA 2015*.

AMH. (2021). Gestión de presión en redes sectorizadas de agua potable, ¿una alternativa para el suministro intermitente? *Tláloc*.

Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* México: Editorial Limusa. México.

ARUP. (2018). CITY WATER RESILIENCE FRAMEWORK. *THE RESILIENCE SHIFT*.

AWWA. (2022). *FREE WATER AUDIT SOFTWARE.* Obtenido de FWAS v6.0: https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resource-Topics/Water-Loss-Control/Free-Water-Audit-Software

Banco Mundial. (2012). Mexico´s Natural Disaster Fund- a Review. *The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank.*

Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico.* México: Facultad de Ingeniería. Universidad de San Luis Potosí.

CONAGUA. (2007). LINEAMIENTOS TECNICOS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO. En C. N. Agua, *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO* (pág. 71). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA. (4 de enero de 2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), Estado de Chihuahua. *Diario Oficial de la Federación*.

European Commission. (2013). Building a Green Infrastructure for Europe. *European Commission Directorate-General of the Environment*.

Faria, & Alegre. (1996). O CAMINHO DA EXCELÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DE. *Ingeniería del Agua, Vol 3*(Núm 1).

GlobalSTD. (6 de diciembre de 2019). *Global STD Certification*. Obtenido de NUEVA NORMA ISO PARA GESTIONAR LA EFICIENCIA DEL AGUA: https://www.globalstd.com/blog/nueva-norma-iso-para-gestionar-la-eficiencia-del-agua/

igua. (febrero de 2021). *El valor del agua*. Obtenido de Maurizio De Stefano: https://www.iagua.es/blogs/maurizio-stefano/valor-agua

IMPLAN. (2016). *PUD2040 Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Chihuahua visión 2040.* Chihuahua, México.: Instituto Municipal de Planeació.

IMTA. (2021). *PIGOO*. Obtenido de Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores: http://www.pigoo.gob.mx/Indicadores

INEGI. (octubre de 2021). *Climatología*. Obtenido de Mapas: https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/

INEGI. (octubre de 2021). *Geología*. Obtenido de Mapas: https://www.inegi.org.mx/temas/geologia/

IWA. (2017). INDICADORES DE DESEMPEÑO PARA SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA. *Manual de Buenas Prácticas*.

IWA. (2021). *Water Loss 2022*. Obtenido de LOCAL ORGANIZER: CZECH WATER ASSOCIATION: https://iwa-network.org/events/water-loss-2022/

IWA Water Loss Speciallist Group. (26 de enero de 2021). *The use and interpretation of Minimum Night Flows - Ronnie Mckenzie*. Obtenido de YouTube: https://youtu.be/MlCbiaI8GBc

JCAS. (2021). *RED CLIMATOLÓGICA DEL ESTADO DE CHIHUAHUA*. Obtenido de Consultar Datos: http://proyectojcas.uacj.mx/clima/public/

JMAS. (2021). Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua, México.

Lambert, & Lalonde. (2005). Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management. *Leakage*.

Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (2020). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems. *IWA/AQUA*.

Oficina de Resiliencia CDMX. (2016). ESTRATEGIA DE RESILIENCIA CDMX. *100 CIUDADES RESILIENTES: CIUDAD DE MÉXICO*.

SINA. (2021). *Sistema Nacional de Información del Agua*. Obtenido de Acuíferos (estatal), Condición de acuíferos (2020): http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=reporte&o=0&n=estatal

The LEAKSSuite Library. (2021). *Austrian ILIs*. Obtenido de ILIs in Austria – update 2015: https://www.leakssuitelibrary.com/austrian-ilis/

The LEAKSSuite Library. (2021). *Balance de agua IWA*. Obtenido de Balance hídrico de las mejores prácticas de la IWA: https://www.leakssuitelibrary.com/iwa-water-balance/

The LEAKSSuite Library. (2021). *Low ILIs and Small Systems*. Obtenido de System Correction Factor SCF can customise the standard UARL equation for pipe materials, small systems and pressure: bursts relationships: https://www.leakssuitelibrary.com/low-ilis-and-small-systems/

The LEAKSSuite Library. (2021). *UARL and ILI*. Obtenido de Unavoidable Annual Real Losses & Infrastructure Leakage Index: https://www.leakssuitelibrary.com/uarl-and-ili/

UPV. (2022). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALÉNCIA*. Obtenido de SIGMA, ITA Instituto Tecnológico del Agua: https://www.sigmalite.com/sigma-es.php

wacclim.org. (2020). Agua y clima, Hacia un sector del agua resiliente y neutro en carbono. *Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation*.

Currículum Vitae

Egresado de la Universidad Autónoma de Chihuahua en La licenciatura en Ingeniería civil y candidato a grado en la Maestría en Ingeniería en Hidrología.

Participación como investigador en el libro “AGUA ASOLADA”, en el Capítulo VIII; Tema “Tratamiento del Agua Residual y Reúso del Agua Tratada”, (2014 - 2015).

Cuenta con 17 años de experiencia en el área de estudios y proyectos en agua potable, alcantarillado sanitario, saneamiento y en la administración de agua en el sector público en el organismo operador del Estado de Chihuahua, y con 5 años de experiencia en el sector privado en diferentes obras y proyectos en el sector hídrico.

mail: ingekv@outlook.com

https:/www.linkedin.com/in/enrique-kong-vargas-a4436268