



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

*Cálculo de huella hídrica para
organismos operadores de agua potable*

Para optar al título de

Maestra en Ciencias del Agua

PRESENTA:

Ing. María Alejandra Ortega Guerra

DIRECTOR:

Dra. Xitlali Virginia Delgado Galván

COMITÉ ACADÉMICO:

M.I. Eduardo Alexis Cervantes Carretero

Dr. José de Jesús Mora Rodríguez

Guanajuato, Gto.

agosto, 2023

Resumen

La Huella Hídrica (HH) es un indicador que mide el volumen total de agua utilizado para producir bienes y servicios en todas las etapas de su ciclo de vida. Esta medición considera tanto el agua directa utilizada (procedente de fuentes superficiales y subterráneas) como el agua indirecta, que se refiere al agua requerida para producir los insumos utilizados en la cadena de suministro. Para la estimación de la HH de los Organismos Operadores de Agua Potable en el Estado de Guanajuato, se llevó a cabo un análisis basado en estudios de consumo de agua realizados entre los años 2015 y 2021. Se seleccionaron los municipios más representativos del estado con el objetivo de establecer una relación entre el consumo de agua y la sostenibilidad del recurso.

Además, se realizó una comparación de los niveles de uso del agua en los sectores identificados, utilizando una metodología de investigación descriptiva con enfoque cualitativo. En este proceso, se utilizó información de documentos previos y se analizó la relación entre las actividades humanas y la escasez de agua. Los resultados obtenidos en esta investigación resaltaron los sectores que presentan un alto porcentaje de la HH. Con el fin de abordar esta problemática, se recomienda la implementación de la metodología de la HH como herramienta analítica. Esta metodología permitirá comprender en mayor profundidad cómo las actividades se relacionan con la escasez de agua y qué medidas pueden adoptarse para asegurar que las actividades humanas no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce.

En conclusión, la estimación de la HH y la aplicación de esta metodología en los sectores identificados proporcionarán información valiosa para la gestión sostenible del agua, promoviendo una utilización responsable y eficiente de este recurso vital.

Dedicatoria

A mis queridos padres, el Sr. Oscar Ortega y la Sra. Carmen Guerra, por ser los principales promotores de mi vida y por creer en mí cada día. A lo largo de mi vida, han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación. Han confiado en mis habilidades y me han alentado a seguir mis sueños.

A mi querido hermano, Cesar Ortega, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mis abuelos, Roberto Guerra y Sara Linares, por su constante apoyo y presencia en cada paso que doy. Su amor incondicional y su guía han sido un pilar fundamental en mi vida y en mi desarrollo personal y académico.

A mi pareja, Álvaro Patiño, por su apoyo constante, su confianza, por estar siempre a mi lado, por motivarme cuando dudaba de mis habilidades y por recordarme constantemente que puedo lograr cualquier meta que me proponga.

A mis familiares y amigos por su constante apoyo emocional y motivación durante todo el proceso..

Agradecimientos personales

Agradezco sinceramente a la Dra. Xitlali Delgado por su confianza, apoyo, orientación y formación desde mi llegada a la maestría. Su papel como guía y directora ha sido importante para mi crecimiento profesional y personal. Su conocimiento, experiencia y dedicación han sido fundamentales para mi desarrollo académico y me han brindado las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

Al Dr. Jesús Mora y M.I Alexis Cervantes por su valioso apoyo, orientación y dirección durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y conocimientos en el campo de la investigación han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos y alcanzar resultados significativos.

Al Ing. Miguel Molina por su valiosa colaboración y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para el éxito de la investigación. Su disposición para brindar orientación, compartir información relevante y proporcionar asistencia técnica han sido de gran ayuda en cada etapa del trabajo.

A todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron en la realización de este trabajo de tesis. Su apoyo, colaboración y aportes han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

Agradecimientos institucionales

Expreso mi más sincera gratitud hacia la Universidad de Guanajuato, especialmente al programa de Maestría en Ciencias del Agua por la formación y por el apoyo que he recibido. A todos los profesores mis agradecimientos por sus enseñanzas en estos dos años que me permitieron obtener el título de Maestría en Ciencias del Agua.



UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO

A mi Alma mater, la Universidad Popular del Cesar (Colombia), base sólida de mi formación académica.



UNIVERSIDAD
Popular del Cesar

Este trabajo de tesis fue realizado gracias al apoyo recibido a través del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías de México (CONAHCYT), bajo el número de CVU 1153260. Agradezco al CONAHCYT por su respaldo financiero, el cual fue fundamental para la realización de esta investigación. Su apoyo ha permitido el desarrollo de nuevos conocimientos y la contribución al avance científico en el campo de estudio.



Al Organismo Operador de SIMAPAG por dar la oportunidad de implementar la metodología propia en el municipio de Guanajuato, así como por su apoyo invaluable durante el desarrollo de la investigación. Su colaboración ha sido fundamental para el éxito de este proyecto y ha permitido obtener resultados significativos en la evaluación de la Huella Hídrica.



Índice general

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Formulación del problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos de la investigación	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Formulación de la hipótesis	4
2. Marco referencial	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. Problemática de los servicios de agua potable	5
2.1.2. Indicadores de gestión	6
2.1.3. Surgimiento de la Huella Hídrica	7
2.1.4. Metodologías	8
2.2. Marco teórico	12

2.2.1. Utilidades de la Huella Hídrica para los Organismos Operadores. . .	12
2.2.2. Componente de un Organismo Operador	22
2.3. Marco contextual	23
2.4. Marco legal	31
2.5. Marco Institucional	34
3. Marco metodológico	35
3.1. Población	35
3.2. Muestra	35
3.3. Desarrollo Metodológico	35
3.3.1. Etapa 1. Calcular la Huella Hídrica para los 46 Organismos Operadores del estado de Guanajuato.	36
3.3.2. Etapa 2. Desarrollar un manual para la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.	40
3.3.3. Etapa 3. Implementar la calculadora de la Huella Hídrica en el sector doméstico de Guanajuato.	40
4. Aplicación de la metodología	41
4.1. Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG. . . .	41
4.1.1. Método por macromedición	42
4.1.2. Método por micromedición	51
4.2. Calcular la Huella Hídrica para los 46 OO del Estado de Guanajuato del año 2018.	57
4.3. Desarrollar un manual para la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.	60
4.4. Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.	85

4.4.1. Resultados de la implementación de la calculadora.	90
5. Resultados y discusión	97
6. Conclusiones y recomendaciones	99
A. Producción anual de las fuentes superficiales y subterráneas de SIMA- PAG.	108
B. Volúmenes de agua residual tratada en SIMAPAG.	111
C. Resultados del cálculo de la HH por los cinco métodos.	113
D. Distribución anual del agua.	118

Índice de figuras

2.1. Referencia Geográfica del Estado de Guanajuato.	24
2.2. Fuentes de abastecimiento superficiales.	25
2.3. Fuentes de abastecimiento subterráneas.	26
2.4. Cobertura de macromedición.	28
2.5. Distribución del agua.	29
2.6. PTAR (Ing. Estanislao Zárate Lujano)	30
2.7. PTAR (Centro).	30
3.1. Macromedición (entrada y salida).	36
3.2. Estimación del volumen de entrada.	37
3.3. Estimación del volumen de salida.	38
4.1. Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 1	45
4.2. Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 2.	48
4.3. Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 3.	50
4.4. Comparación de los resultados de la HH para los casos 1, 2 y 3.	51
4.5. Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 4.	53

4.6. Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 5.	55
4.7. Resultados del agua no contabilizada.	56
4.8. Comparación de los resultados de la HH para los casos 4 y 5.	57
4.9. Resultados de la HH por habitante y de los 24 OO para el caso 1.	59
4.10. Pagina oficial en Facebook.	87
4.11. Recibo del servicio de agua potable.	89
4.12. Población atendida del municipio de Guanajuato.	90
4.13. Resultados del consumo de la zona sur y la zona centro.	91
4.14. Resultados de la HH por habitante.	92
4.15. Resultados de la HH para uso doméstico.	93
4.16. Resultados de los dispositivos conveccionales y ahorradores.	94
4.17. Consumo de agua en una vivienda.	95
6.1. Resultados de la HH pér capita.	102
A.1. Planta potabilizadora (los filtros).	109
A.2. Planta potabilizadora (Ing. Salvador yáñez Castro).	109
A.3. Producción anual de pozos.	110
B.1. Planta de tratamiento de agua residual tratada.	111
B.2. Volumen de agua residual tratado.	112
D.1. Datos de la distribución del agua en los OO.	118

Índice de tablas

2.1. Legislación Mexicana sobre el recurso hídrico.	33
4.1. Macromedición en la entrada y en la descarga.	43
4.2. Estimación del volumen de entrada y macromedición en la descarga.	47
4.3. Macromedición en la entrada y estimación en la descarga.	49
4.4. Micromedición cuando se miden las descargas.	53
4.5. Micromedición cuando no se miden las descargas.	54
4.6. Consumo de agua en el uso del baño.	96
C.1. Macromedición en la entrada y en la descarga.	114
C.2. Estimación del volumen de entrada y macromedición en la descarga.	115
C.3. Macromedición en la entrada y estimación en la descarga.	116
C.4. Micromedición cuando se miden las descargas.	117
C.5. Micromedición cuando no se miden las descargas.	117

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

El agua es fundamental para la vida, y por ello es el elemento esencial de nuestro ser. Sin embargo, el agua que bebemos no es la única que consumimos, también lo hacemos al bañarnos, cocinar, limpiar y muchas otras actividades que implican el uso de ella. “El uso del agua por parte de los seres humanos deja irremediamente una huella de nuestras actividades sobre el planeta” ([Pedrozo-Acuña, 2020](#)).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere de 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene. La actual crisis de gobernanza del agua pone de manifiesto los grandes retos que enfrenta la gestión integrada de recursos hídricos, modelo aceptado internacionalmente y reconocido en la propia Ley de Aguas Nacionales de México. El logro de los objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030 y más allá, requiere un cambio de paradigma en la gestión del agua y una mejor comprensión de la problemática hídrica que pueda llevar a un uso más sostenible, eficiente, justo y equitativo del agua ([Douro, 2022](#)). En el año 2002, Arjen Hoekstra acuñó el concepto de “Huella Hídrica” para obtener un indicador del consumo y contaminación del agua dulce, y desde entonces es difundido por la red de huella hídrica

1.1 Planteamiento del problema

(HH). Se puede utilizar para estimar y evaluar el aprovechamiento del agua por parte de una persona, un producto, un proceso de producción industrial, una región o un país.

Este indicador no solamente toma en cuenta el volumen de agua empleado directa o indirectamente para producir algo, sino también distingue en dónde y en qué momento se usó y qué tipo de agua era: lluvia (HH verde), superficial y subterránea (HH azul), o la empleada para asimilar la carga contaminante en cuerpos receptores (HH Gris) ([AgroDer, 2012](#)).

Actualmente, México se encuentra en una situación crítica en cuanto al uso de sus recursos hídricos debido a la sobreexplotación, contaminación y mal uso de las fuentes de agua. Algo tan cotidiano como abrir un grifo y no contar con agua para beber o realizar actividades cotidianas se ha vuelto muy difícil para millones de personas que sufren las consecuencias de la escasez de agua en el mundo. La escasez de agua puede definirse como el punto en el que el consumo de los usuarios afecta el suministro o la calidad del agua, de modo que la demanda no puede ser completamente satisfecha ([IAGUA, 2022](#)).

Los problemas de escasez de agua son especialmente evidentes en el norte y centro del país, por lo que es necesario anticiparse a ellos y tomar medidas preventivas, considerando que el agua es fundamental en la mayoría de los procesos ([GWI, 2021](#)).

Esto genera una problemática ambiental, económica y social significativa, ya que si estos problemas no se identifican y evalúan adecuadamente, no se puede establecer una gestión adecuada del cálculo de la HH de los Organismos Operadores de Agua Potable. Como resultado, se ignoran situaciones de riesgo que podrían optimizarse mediante una metodología sencilla y fácil de aplicar para estos organismos, lo que genera inseguridad e insostenibilidad en el uso de este recurso ([Ramirez et al., 2017](#)).

1.1.1. Formulación del problema

¿Podría el diseño de esta metodología de cálculo de huella hídrica para usuarios de organismos operadores ser la respuesta a la problemática planteada?

1.2. Justificación

En vista de la diversidad de actividades y la falta de una metodología adecuada para calcular la HH en los Organismos Operadores (OO), especialmente en el municipio de Guanajuato, se ha implementado una metodología específica para este propósito.

Esta metodología tiene como objetivo identificar, caracterizar y evaluar de manera clara y sencilla la HH del Organismo Operador del Municipio de Guanajuato. Esto permitirá establecer planes de manejo y conservación eficiente del recurso hídrico, promoviendo el uso responsable y sostenible del agua en la región ([Arévalo, 2017](#)).

Entre los beneficios de este proyecto, se espera que la metodología diseñada sirva como base para futuros estudios en otras empresas de agua potable, así como para estudiantes de la Universidad de Guanajuato y otras personas interesadas en abordar estudios relacionados con este indicador medioambiental.

Además, se busca que esta metodología se convierta en un referente para otras empresas que deseen implementarla, ya que el cálculo de la HH es de suma importancia para comprender la eficiencia en el uso del agua.

El enfoque en el cálculo de la HH a través de este trabajo permitirá a los OO reconocer la importancia de esta metodología para evaluar la eficiencia del agua ([Ivanova et al., 2015](#)). Como indicador del uso del agua dulce, la HH ha ganado relevancia desde que el profesor Hoekstra acuñó el término en 2002, desarrollando diferentes métodos para medir el volumen de agua consumido y contaminado por actividades humanas.

A nivel global, gran parte del uso del agua se destina a la producción agrícola, pero también los sectores industriales y domésticos consumen y contaminan una proporción significativa de agua ([UNESCO, 2009](#)). El consumo de agua está relacionado con actividades específicas como el riego, la higiene personal, la limpieza, entre otras. La cantidad total de agua consumida está vinculada a los patrones de consumo de las comunidades. Revelar la relación oculta entre el consumo y el uso del agua puede sentar las bases para formular nuevas estrategias de gestión.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Calcular la huella hídrica para los Organismos Operadores de Agua Potable.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Calcular la huella hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG durante el periodo comprendido entre el 2015 y 2021.
2. Calcular la huella hídrica para los 46 Organismos Operadores del Estado de Guanajuato del año 2018.
3. Desarrollar un manual para la evaluación de la huella hídrica en una vivienda.
4. Implementar la calculadora de huella hídrica en el sector doméstico del municipio de Guanajuato.

1.4. Formulación de la hipótesis

La evaluación de la HH en los OO es una herramienta analítica que ayuda a comprender cómo las actividades se relacionan con la escasez y la contaminación del agua y con los impactos derivados de las mismas, así como qué se puede hacer para asegurar que las actividades humanas no contribuyan a un uso insostenible del agua.

Capítulo 2

Marco referencial

2.1. Antecedentes

A continuación, en los antecedentes se describen las problemáticas de los servicios de agua potable, los indicadores de gestión, el surgimiento del concepto de la HH y sus metodologías.

2.1.1. Problemática de los servicios de agua potable

La problemática de los servicios de agua potable se refiere a los desafíos y dificultades que enfrentan los sistemas y proveedores de agua potable para garantizar el suministro de agua segura y de calidad a la población ([Gutiérrez-Mercadillo, 2017](#)).

- **Impacto Económico:** Durante la crisis de abastecimiento de agua, con frecuencia se plantea la posibilidad de ampliar las unidades de producción, tratamiento, almacenamiento y distribución. No obstante, esta solución implica llevar a cabo inversiones considerables. Una alternativa más sensata y factible consistiría en centrarse en la reducción de pérdidas. La búsqueda de métodos para disminuir las pérdidas se perfila como una solución lógica que no demanda nuevas inversiones en la expansión de infraestructuras, al tiempo que reduce los costos operativos.

2.1 Antecedentes

- **Impacto Financiero:** Se refiere a las consecuencias económicas y financieras que esta empresa experimenta como resultado de sus actividades y operaciones relacionadas con el suministro de agua potable. Este impacto puede ser tanto positivo como negativo y tiene implicaciones significativas en la sostenibilidad y viabilidad financiera de la empresa.
- **Impacto Institucional:** Se refiere a las consecuencias o efectos que dicha empresa tiene en su entorno y en la comunidad a la que brinda sus servicios. Este impacto puede ser tanto positivo como negativo y está relacionado con diversos aspectos, tales como la calidad del servicio, la gestión de los recursos hídricos, la responsabilidad social y ambiental, y la relación con los usuarios y otras partes interesadas.

2.1.2. Indicadores de gestión

Como instrumento de medición del desempeño de los OO del estado, se utilizan los indicadores de gestión. Estos indicadores proporcionan un panorama general de la situación actual de la gestión de los recursos hídricos en las cabeceras municipales del estado, y brindan apoyo en la toma de decisiones orientada a mejorar la prestación del servicio (Sánchez, 2022). Los indicadores de gestión permiten evaluar diferentes aspectos relacionados con la operación y administración de los servicios de agua potable y saneamiento. Algunos de los indicadores comúnmente utilizados incluyen:

- **Cobertura de agua potable:** Mide el porcentaje de la población que tiene acceso al servicio de agua potable en las cabeceras municipales. Proporciona información sobre la extensión del servicio y la necesidad de expandirlo a áreas no cubiertas.
- **Cobertura de saneamiento:** Evalúa el porcentaje de la población que cuenta con servicios de saneamiento adecuados, como sistemas de alcantarillado o letrinas sanitarias. Indica la calidad de los sistemas de eliminación de aguas residuales y la necesidad de mejorar la infraestructura existente.
- **Calidad del agua:** Evalúa la calidad del agua suministrada a través de parámetros como la presencia de contaminantes o la conformidad con los estándares de calidad establecidos. Es crucial para garantizar la seguridad y salud de los usuarios.

2.1 Antecedentes

- **Dotación:** Se refiere a la cantidad de agua asignada o disponible para satisfacer las necesidades de una determinada población, área geográfica o sector. Es la cantidad de agua que se destina o se considera necesaria para el abastecimiento y uso por parte de los usuarios finales.
- **Eficiencia de la gestión:** Mide la eficiencia en la administración del recurso hídrico, considerando aspectos como la reducción de pérdidas de agua, la optimización de procesos de tratamiento y distribución, y la gestión adecuada de los recursos financieros.

2.1.3. Surgimiento de la Huella Hídrica

Los antecedentes de la HH se remontan a la década de 1990, cuando se empezaron a desarrollar conceptos y metodologías para evaluar y cuantificar el uso del agua en diferentes sectores y actividades humanas. Sin embargo, fue en 2002 cuando el profesor Arjen Hoekstra acuñó el término “Huella Hídrica” y lo presentó en su tesis doctoral titulada “Water Savings through International Trade of Agricultural Products”. Desde entonces, la HH ha ganado relevancia y ha sido ampliamente estudiada y aplicada en diferentes países y sectores ([HOEKSTRA, 2009](#)).

En los años posteriores, se han realizado numerosos estudios e investigaciones sobre la HH, tanto a nivel global como regional. Estos estudios han permitido avanzar en el desarrollo de metodologías para su cálculo, así como en la comprensión de su impacto en la sostenibilidad ambiental y el uso responsable del agua. La HH ha sido utilizada como una herramienta para evaluar la eficiencia del uso del agua en diferentes actividades, para identificar áreas de mejora y para promover prácticas sostenibles en el manejo del recurso hídrico. Además, se ha convertido en una medida importante para la toma de decisiones en materia de gestión de agua y en la planificación de recursos hídricos a nivel nacional e internacional ([Amórtegui, 2017](#)).

La HH total se compone de la suma de tres componentes ([Aldaya et al., 2012](#)) que se describen a continuación:

- **Huella hídrica verde:** Se refiere al volumen de agua de lluvia que se evapora o se transpira por los cultivos durante su crecimiento. Incluye el agua que se utiliza

2.1 Antecedentes

de manera directa en los procesos de riego agrícola. Este componente considera la cantidad de agua consumida de fuentes de agua renovables.

- **Huella hídrica azul:** Se relaciona con el uso de agua superficial y subterránea extraída para satisfacer la demanda de agua en actividades humanas. Esto incluye el agua utilizada en la agricultura, la industria y el consumo doméstico. Este componente tiene en cuenta tanto el consumo directo de agua como las pérdidas durante su transporte y distribución.
- **Huella hídrica gris:** Indica el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes presentes en las aguas residuales generadas por la producción o el consumo de bienes y servicios. Representa el agua requerida para mantener los estándares de calidad del agua establecidos. Este componente tiene en cuenta la cantidad y calidad del agua utilizada en el tratamiento de aguas residuales.

La HH total se obtiene mediante la suma de los tres componentes mencionados anteriormente, lo que proporciona una visión completa del impacto del uso del agua en una actividad, producto, región o país. La evaluación de la HH total es una herramienta valiosa para comprender y gestionar el impacto del uso del agua en la sostenibilidad de los recursos hídricos. Permite identificar áreas de mejora y promover un uso más eficiente y responsable del agua, contribuyendo así a la conservación y preservación de este recurso vital para la vida y el desarrollo sostenible.

2.1.4. Metodologías

A continuación se presentan algunas de las metodologías más comunes utilizadas para calcular la HH de diversos elementos, como procesos, productos, consumidores y cuencas:

- **Huella hídrica de un producto industrial:** Esta metodología se centra en evaluar el consumo de agua asociado a la producción de un producto específico a lo largo de su ciclo de vida completo, incluyendo la producción de materias primas, el proceso de fabricación, el transporte y el uso final. Se utilizan datos detallados de la cadena de suministro y se calcula la cantidad total de agua utilizada en cada etapa ([Arroyo et al., 2018](#)).

2.1 Antecedentes

- **Huella hídrica a nivel predial en la producción lechera de Chile:** Este estudio se centra de una metodología para calcular la HH que cuantifica el volumen total de agua consumida directa o indirectamente en la producción de bienes o servicios. En el caso de la producción lechera, es importante evaluar el uso del agua a lo largo de todo el proceso, desde la alimentación del ganado hasta el procesamiento de la leche ([Broussain-Kyling, 2011](#)).
- **Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana:** En este estudio se realiza una evaluación de la HH, la cual es una medida que cuantifica el volumen de agua utilizado directa e indirectamente por una ciudad, considerando tanto el consumo doméstico como el industrial, agrícola y otros usos. El objetivo es analizar el impacto del consumo de agua en la ciudad y utilizar esta información para mejorar la eficiencia hídrica y la gestión sostenible del recurso ([Ivanova et al., 2020](#)).
- **Cálculo de huella hídrica en una cervecería artesanal:** En este estudio se aplica la metodología de Water Footprint Network para calcular la HH en el año 2021 en las instalaciones de una cervecería artesanal. La HH es una herramienta que permite cuantificar el volumen de agua utilizado a lo largo de toda la cadena de producción de un producto, incluyendo el agua utilizada en los procesos de fabricación, el riego de los cultivos utilizados en la producción y el agua incorporada en los insumos utilizados. El objetivo es evaluar el impacto del consumo de agua en la cervecería y buscar oportunidades de mejora en términos de eficiencia hídrica y sostenibilidad ([Alvarado, 2023](#)).
- **Metodología para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica:** Esta metodología se aplica para analizar el uso y la disponibilidad de agua en una cuenca hidrográfica determinada. Se considera el consumo de agua de diferentes sectores, como la agricultura, la industria y el abastecimiento de agua potable, así como las fuentes de agua disponibles. Se evalúa el equilibrio entre la oferta y la demanda de agua en la cuenca y se identifican posibles problemas de escasez o sobreexplotación ([Zárate et al., 2017](#)).

2.1 Antecedentes

- **Evaluación de la huella hídrica urbana y la escasez de agua azul:** El presente artículo tiene como objetivo calcular y analizar la HH de producción en la provincia de Van, que abarca la cuenca y la distribución de recursos hídricos a diferentes regiones, incluyendo todos los distritos de la provincia. En este contexto, evaluaron por separado la producción agrícola y ganadera, así como el uso de agua doméstica e industrial, calculando las cifras de huella hídrica azul y verde. Además, analizaron la huella hídrica per cápita para compararla con otros estudios realizados. Una ventaja de este estudio en comparación con otros sobre la HH radica en su enfoque en un área específica, el uso de datos actualizados aceptados por las autoridades nacionales e internacionales, y el beneficio de un amplio periodo de tiempo (2001 a 2019). Además, utilizaron las propiedades del suelo y su capacidad de retención de agua, junto con la humedad residual del suelo durante los meses de invierno y la precipitación efectiva, para calcular la HH de la producción de cultivos (Yerli et al., 2022).
- **Comprender la huella hídrica azul de los hogares en China:** En esta investigación, se evaluó el Factor de Huella Hídrica Azul (BWF, por sus siglas en inglés) de los hogares en China a través de la combinación del modelo de entrada y salida con una encuesta nacional de “gasto de consumo de los hogares”. Esta expresión hace referencia a cómo la cantidad y la naturaleza de los bienes y servicios que las personas y hogares adquieren impactan en la cantidad de agua empleada en la producción y el ciclo de vida de dichos bienes y servicios. Por ejemplo, la elaboración de alimentos, prendas de vestir o dispositivos electrónicos demanda agua en distintas etapas, y el patrón de consumo de una sociedad puede influir en la cantidad global de agua usada de forma indirecta mediante la producción de estos elementos.

Utilizaron el método del índice media logarítmica para analizar los factores que inciden en las disparidades del BWF entre diferentes grupos de hogares. Aunque se observa una correlación positiva entre el BWF y los ingresos, su crecimiento marginal decrece debido a la disminución en la propensión al consumo y al cambio en el patrón de consumo de agua hacia un enfoque en el ahorro de agua. A modo de ejemplo, los hogares con mayores ingresos tienden a destinar una parte considerable de su presupuesto a la educación y al entretenimiento, en contraposición a la alimentación. Este estudio resulta sumamente pertinente para entender las variaciones en el BWF

2.1 Antecedentes

entre diferentes hogares y cómo estos aspectos se ven afectados por diversas variables, como los ingresos, la propensión al consumo, el patrón de consumo y la intensidad del agua virtual (Chai et al., 2020).

- **Huella hídrica urbana directa e indirecta de los Estados Unidos:** Este estudio se centra en analizar tanto la HH urbana directa como la indirecta de los Estados Unidos, lo que implica considerar el consumo de agua en actividades urbanas y también el agua utilizada para la producción de bienes y servicios que posteriormente se consumen en el ámbito urbano del país.

Determinaron los volúmenes de agua directos y su energía incorporada a través de solicitudes de registros abiertos de servicios públicos de agua. Además, incluyeron el componente indirecto de la HH urbana, que abarca el agua consumida indirectamente a través de la energía y los alimentos. Cuantificaron exhaustivamente la HH indirecta de 74 áreas estadísticas metropolitanas mediante la combinación de varias bases de datos, como la Encuesta de Flujo de Productos básicos de la Oficina del Censo de los Estados Unidos, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Red de Huella Hídrica y la Administración de Información de Energía.

Posteriormente, analizaron la heterogeneidad espacial en la HH directa e indirecta, y encontraron que la HH urbana promedio en los Estados Unidos es de 1,64 millones de galones de agua por persona al año (6,200 m³/hab/año o 17,000 L/hab/día), siendo dominada por el agua indirecta. La inclusión de múltiples sectores del ciclo urbano del agua y sus procesos subyacentes proporciona información importante sobre el entorno urbano en general, las interdependencias entre alimentos, energía y agua, y la sostenibilidad de los recursos hídricos (Chini et al., 2017).

- **Evaluación del impacto ambiental del consumo de los hogares:** Este estudio se enfoca en evaluar el impacto ambiental generado por el consumo de los hogares, lo que implica analizar cómo las actividades cotidianas de las familias pueden afectar el medio ambiente y los recursos naturales. Analizaron el impacto ambiental del consumo de los hogares en términos de materiales, requisitos de agua y uso de la tierra, así como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas a la producción y uso de productos y servicios consumidos por dichos hogares. Se destaca la importancia de la presión generada por los hogares, ya que su consumo contribuye con más del 60 % de las emisiones globales de GEI y entre el 50 % y el 80 % del uso

2.2 Marco teórico

total de la tierra, los materiales y el agua. Estas huellas ambientales se distribuyen de manera desigual entre las regiones, y los países más ricos generan impactos per cápita más significativos. A nivel mundial, los alimentos representan el 48 % y el 70 % de los impactos domésticos en la tierra y los recursos hídricos, respectivamente, siendo el consumo de carne, lácteos y alimentos procesados los que aumentan rápidamente con los ingresos. El refugio y la movilidad se destacan por su alta intensidad de carbono y material, mientras que la importancia de los servicios en las huellas se relaciona con la gran cantidad de gastos domésticos asociados a ellos ([Ivanova et al., 2015](#)).

Todas estas metodologías y estudios proporcionan enfoques y conocimientos valiosos para calcular y comprender la HH en diversos contextos. Estos enfoques pueden adaptarse y combinarse según las características específicas de los Organismos Operadores de Agua Potable y el sector doméstico.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Utilidades de la Huella Hídrica para los Organismos Operadores.

El agua es un recurso escaso y, en algunas zonas del planeta, representa una amenaza aún mayor que el cambio climático. Por esta razón, resulta crucial mejorar la gestión del agua en todo el mundo. El primer paso que deben dar las organizaciones que deseen avanzar en esta dirección es conocer con precisión cuánta agua necesitan o calcular su HH. No obstante, el cálculo de la HH no debe considerarse como una herramienta comparativa entre organizaciones, ya que existen numerosos factores geográficos y temporales que influyen en su determinación.

Por lo tanto, la aplicabilidad del cálculo de la HH es de gran importancia para las empresas de servicios públicos de agua. Su objetivo es proporcionar una herramienta útil que permita a cualquier organización identificar en qué fases o procesos pueden mejorar la gestión del agua. En este sentido, se han identificado siete posibles propuestas de valor como concepto ([Chai et al., 2020](#)).

2.2 Marco teórico

1. Comprender el consumo de agua de una empresa de servicios públicos de agua.

La empresa debe analizar detalladamente su propio consumo de agua y evaluar su impacto en los recursos hídricos. A continuación se presentan algunos pasos clave para lograr esta comprensión:

Recopilar datos: La empresa debe recopilar información precisa y detallada sobre su consumo de agua. Esto incluye medir el volumen de agua extraído de fuentes naturales, así como el agua tratada y distribuida a los usuarios.

Identificar los procesos: Es importante identificar los diferentes procesos y actividades dentro de la empresa que utilizan agua. Esto puede incluir la captación y tratamiento del agua, la distribución a los usuarios, el mantenimiento de las redes de agua, entre otros.

Evaluar la eficiencia: La empresa debe evaluar la eficiencia de sus procesos en términos de consumo de agua. Esto implica identificar posibles áreas de mejora, como la detección y reparación de fugas, la optimización de los sistemas de tratamiento y distribución, y la promoción de prácticas de uso responsable del agua entre los usuarios.

Analizar el ciclo de vida: Es útil realizar un análisis del ciclo de vida del agua dentro de la empresa. Esto implica considerar el consumo de agua en todas las etapas, desde la extracción de los recursos hídricos hasta la disposición final de las aguas residuales.

Establecer metas y objetivos: Con base en la comprensión del consumo de agua, la empresa puede establecer metas y objetivos específicos para reducir su huella hídrica. Estos pueden incluir la implementación de tecnologías más eficientes, la promoción de prácticas de uso responsable del agua y la participación en programas de conservación y reutilización del agua.

Monitoreo y seguimiento: Es importante establecer un sistema de monitoreo y seguimiento continuo del consumo de agua. Esto permitirá a la empresa evaluar el progreso hacia sus metas, identificar desviaciones y tomar medidas correctivas si es necesario.

Comprender y gestionar el consumo de agua de una empresa de servicios públicos de agua es esencial para garantizar una gestión sostenible del recurso hídrico y contribuir a la conservación del agua a nivel local y global.

2.2 Marco teórico

2. Comprender los impactos en la calidad del agua.

Comprender los impactos en la calidad del agua es crucial para asegurar su conservación y preservar la salud de los ecosistemas acuáticos y de las comunidades que dependen de este recurso. A continuación, se presentan algunos puntos clave para comprender estos impactos:

Fuentes de contaminación: Es importante identificar las fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua. Estas pueden incluir descargas industriales, vertidos de aguas residuales sin tratar, uso de productos químicos agrícolas, desechos sólidos mal gestionados y actividades humanas como la minería y la construcción.

Parámetros de calidad del agua: Se deben analizar los parámetros que determinan la calidad del agua, como la concentración de sustancias químicas, la presencia de microorganismos patógenos, la turbidez, el pH y la temperatura. Estos parámetros pueden variar según el uso del agua (potable, recreativo, agrícola, industrial, etc.) y las regulaciones locales o internacionales.

Evaluación de impacto ambiental: Se deben realizar evaluaciones de impacto ambiental para identificar los posibles efectos adversos en la calidad del agua. Estas evaluaciones consideran el riesgo de contaminación en diferentes escenarios y evalúan la viabilidad de proyectos o actividades que podrían tener impactos significativos en el agua.

Monitoreo y muestreo: Es esencial llevar a cabo programas de monitoreo y muestreo regular para evaluar la calidad del agua a lo largo del tiempo. Esto implica recolectar muestras en diferentes puntos de la red de agua, ríos, lagos u otros cuerpos de agua relevantes, y analizarlas en laboratorios especializados para determinar los niveles de contaminantes y otros parámetros de calidad.

Normativas y regulaciones: Se deben tener en cuenta las normativas y regulaciones vigentes en materia de calidad del agua, establecidas por autoridades ambientales y de salud. Estas normativas establecen límites y estándares de calidad para diferentes usos del agua y definen las medidas necesarias para prevenir, controlar y mitigar los impactos en la calidad del agua.

Educación y concientización: Es fundamental educar y concienciar a la comunidad sobre la importancia de mantener una buena calidad del agua y los impactos negativos de

2.2 Marco teórico

la contaminación. Esto incluye promover prácticas sostenibles de uso y manejo del agua, fomentar la participación ciudadana en la protección de los recursos hídricos y generar conciencia sobre el impacto de nuestras acciones individuales y colectivas en la calidad del agua.

Comprender los impactos en la calidad del agua y tomar medidas adecuadas para su preservación es esencial para garantizar la disponibilidad de agua de calidad para las generaciones futuras y mantener la salud de los ecosistemas acuáticos.

3. Entender la relación entre huella de Carbono y huella hídrica.

La relación entre la huella de carbono y la huella hídrica radica en el vínculo estrecho que existe entre el consumo de agua y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas. A continuación, se explican algunos aspectos clave de esta relación:

Uso de energía: El agua y la energía están interconectadas, ya que el suministro de agua y su tratamiento requieren energía. Por lo tanto, el consumo de agua puede generar emisiones de GEI indirectas asociadas al uso de energía. Por ejemplo, la energía utilizada en las plantas de tratamiento de agua, la distribución de agua potable y la extracción de agua de fuentes subterráneas pueden contribuir a las emisiones de carbono.

Agua virtual: El concepto de agua virtual se refiere al agua utilizada en la producción de bienes y servicios. La HH incluye tanto el consumo directo de agua como el consumo indirecto a través de la cadena de suministro. Algunos productos y procesos industriales requieren grandes cantidades de agua, lo que implica un uso intensivo de energía. Por lo tanto, el consumo de agua puede tener un impacto indirecto en las emisiones de carbono asociadas a la energía utilizada en la producción de esos bienes y servicios.

Cambio climático y escasez de agua: El cambio climático puede influir en la disponibilidad y calidad del agua, ya que puede alterar los patrones de precipitación y aumentar la frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones. Estos cambios pueden afectar la disponibilidad de agua para uso humano, agrícola e industrial. Además, las emisiones de GEI contribuyen al calentamiento global, lo que a su vez puede influir en el ciclo del agua y agravar los problemas de escasez hídrica.

Sinergias y enfoque integrado: Considerar tanto la huella de carbono como la HH de manera integrada puede ayudar a identificar sinergias y oportunidades para la mitigación

2.2 Marco teórico

conjunta de las emisiones de carbono y el uso eficiente del agua. Por ejemplo, la adopción de tecnologías y prácticas más sostenibles en la gestión del agua puede reducir tanto el consumo de agua como las emisiones de carbono asociadas.

En resumen, la relación entre la huella de carbono y la huella hídrica se basa en la interacción entre el consumo de agua y las emisiones de carbono asociadas. Comprender esta relación es fundamental para adoptar medidas integradas que promuevan la sostenibilidad ambiental y la gestión eficiente de los recursos hídricos y energéticos.

4. La planificación sostenible del suministro de agua.

La planificación sostenible del suministro de agua es fundamental para garantizar la disponibilidad continua de agua de calidad para las necesidades presentes y futuras de la sociedad, al tiempo que se protegen los recursos hídricos y se preserva el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. A continuación se presentan algunos aspectos clave de la planificación sostenible del suministro de agua:

Evaluación de la demanda: Se realiza una evaluación exhaustiva de la demanda actual y futura de agua, considerando factores como el crecimiento demográfico, las actividades económicas, las necesidades de riego agrícola, la disponibilidad de recursos hídricos y los efectos del cambio climático. Esto permite estimar la cantidad de agua requerida y identificar posibles desequilibrios entre la demanda y la disponibilidad de agua.

Gestión integrada de los recursos hídricos: Se promueve una gestión integrada de los recursos hídricos que tenga en cuenta no solo el suministro de agua potable, sino también la conservación de ecosistemas acuáticos, el uso agrícola, industrial y recreativo del agua, y la protección de los derechos de las comunidades locales. Esto implica la coordinación entre diferentes sectores y actores involucrados en la gestión del agua.

Diversificación de fuentes de agua: Se busca diversificar las fuentes de agua disponibles para reducir la dependencia de una única fuente y minimizar los riesgos asociados, como la escasez o la contaminación. Esto puede incluir el uso de fuentes superficiales (ríos, lagos), fuentes subterráneas (acuíferos), la captación y almacenamiento de agua de lluvia, y la reutilización de aguas residuales tratadas.

Eficiencia en el uso del agua: Se fomenta el uso eficiente del agua a través de prácticas y tecnologías que reduzcan las pérdidas y promuevan la conservación. Esto puede incluir la

2.2 Marco teórico

implementación de sistemas de riego eficientes, la mejora de la infraestructura de distribución de agua, la promoción de prácticas de uso responsable del agua en hogares y empresas, y la concienciación sobre la importancia de conservar este recurso.

Adaptación al cambio climático: Se consideran los efectos del cambio climático en la disponibilidad y calidad del agua, y se desarrollan estrategias de adaptación para hacer frente a los desafíos asociados. Esto implica la identificación de medidas de mitigación y adaptación, como la gestión de sequías e inundaciones, la protección de los ecosistemas costeros y la promoción de prácticas agrícolas resilientes al clima.

Participación y gobernanza: Se fomenta la participación de los diferentes actores involucrados en la gestión del agua, incluyendo comunidades locales, instituciones gubernamentales, sector privado y organizaciones de la sociedad civil. La gobernanza del agua se basa en la colaboración, la transparencia y la rendición de cuentas para lograr una gestión sostenible y equitativa del recurso.

La planificación sostenible del suministro de agua busca equilibrar las necesidades humanas con la protección de los ecosistemas acuáticos, promoviendo el uso eficiente y responsable del agua, la conservación de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático. Esta planificación es esencial para garantizar la disponibilidad a largo plazo de agua segura y de calidad para las generaciones presentes y futuras.

5. Mejorar las comunicaciones entre las partes interesadas.

Mejorar las comunicaciones entre las partes interesadas es un objetivo fundamental para promover la colaboración, la transparencia y el entendimiento mutuo en cualquier contexto. A continuación, se presentan algunas sugerencias para lograr una mejora en las comunicaciones:

Escucha activa: Prestar atención y demostrar interés genuino en las opiniones y preocupaciones de las partes interesadas. Esto implica dedicar tiempo y esfuerzo para comprender plenamente sus perspectivas y puntos de vista.

Claridad y transparencia: Comunicar de manera clara, directa y transparente, evitando la ambigüedad y la confusión. Utilizar un lenguaje sencillo y accesible, adaptado al nivel de conocimiento de las partes interesadas, para garantizar una comunicación efectiva.

Canales de comunicación adecuados: Identificar los canales de comunicación más apro-

2.2 Marco teórico

piados para cada situación y grupo de interés. Esto puede incluir reuniones cara a cara, correos electrónicos, boletines informativos, redes sociales, entre otros. Es importante utilizar los medios que sean más accesibles y efectivos para cada audiencia.

Retroalimentación constante: Fomentar un ambiente propicio para recibir y proporcionar retroalimentación de manera regular. Esto implica estar abierto a críticas constructivas y opiniones divergentes, y responder de manera constructiva y respetuosa.

Adaptabilidad y flexibilidad: Reconocer que las necesidades y expectativas de las partes interesadas pueden cambiar con el tiempo. Estar dispuesto a adaptar las comunicaciones para satisfacer esas necesidades cambiantes y asegurarse de que la información sea relevante y oportuna.

Construir relaciones de confianza: Establecer relaciones sólidas y de confianza con las partes interesadas a través de una comunicación transparente, honesta y consistente. Demostrar compromiso y cumplimiento de los compromisos adquiridos.

Comunicación bidireccional: Fomentar la participación activa de las partes interesadas, permitiéndoles expresar sus opiniones y aportar ideas. Establecer mecanismos para recopilar comentarios, preguntas y preocupaciones, y asegurarse de responder de manera oportuna y adecuada.

Comunicar los resultados y avances: Informar regularmente sobre los resultados alcanzados, los avances realizados y los próximos pasos. Comunicar de manera clara y accesible los logros, así como los desafíos y obstáculos encontrados.

En resumen, mejorar las comunicaciones entre las partes interesadas implica establecer una base sólida de confianza, transparencia y diálogo abierto. Al hacerlo, se fomenta una mayor colaboración y se construyen relaciones más sólidas y efectivas, lo que contribuye a lograr resultados positivos y sostenibles.

6. Mejorar los informes de desempeño ambiental.

Mejorar los informes de desempeño ambiental es crucial para proporcionar una visión clara y completa del impacto ambiental de una organización y sus esfuerzos en materia de sostenibilidad. A continuación, se presentan algunas sugerencias para mejorar estos informes:

2.2 Marco teórico

Claridad y relevancia: Asegurarse de que los informes sean claros, concisos y comprensibles para el público objetivo. Utilizar un lenguaje sencillo y evitar jergas técnicas innecesarias. Centrarse en los aspectos más relevantes y significativos del desempeño ambiental de la organización.

Establecer metas y objetivos: Incluir metas y objetivos ambientales claros y medibles en los informes. Estas metas deben ser realistas y basadas en la ciencia, y deben reflejar el compromiso de la organización con la mejora continua en términos de sostenibilidad.

Medición y seguimiento preciso: Utilizar métricas y estándares reconocidos internacionalmente para medir y evaluar el desempeño ambiental. Recopilar datos precisos y actualizados para respaldar los informes. Realizar un seguimiento regular de los indicadores clave de desempeño y comparar los resultados con los años anteriores para evaluar el progreso.

Contexto y comparabilidad: Proporcionar un contexto adecuado para los datos presentados en los informes. Esto implica explicar las tendencias a lo largo del tiempo, identificar los factores que influyen en los resultados y comparar el desempeño con estándares o benchmarks sectoriales para evaluar la posición de la organización en relación con sus pares.

Divulgación completa: Ser transparente y divulgar toda la información relevante relacionada con el desempeño ambiental de la organización. Esto incluye tanto los aspectos positivos como los desafíos y las áreas de mejora. Ser honesto y objetivo en la presentación de los resultados.

Visualización de datos: Utilizar gráficos, tablas y otros elementos visuales para representar los datos de manera clara y comprensible. Estas representaciones visuales pueden ayudar a resumir información compleja y facilitar la comprensión de los lectores.

Participación de las partes interesadas: Involucrar a las partes interesadas relevantes en el proceso de elaboración de informes. Esto puede incluir consultas con expertos externos, grupos comunitarios y otros actores clave para garantizar que los informes sean sólidos, precisos y aborden las preocupaciones de las partes interesadas.

Verificación externa: Considerar la posibilidad de realizar una verificación externa de los informes de desempeño ambiental por parte de terceros independientes. Esto puede proporcionar una mayor credibilidad y confianza en la exactitud de los datos y la transparencia de la información presentada.

2.2 Marco teórico

Al mejorar los informes de desempeño ambiental, las organizaciones pueden comunicar de manera más efectiva sus logros, desafíos y planes futuros en materia de sostenibilidad. Esto fomenta una mayor responsabilidad, transparencia y confianza entre las partes interesadas y contribuye al avance de la sostenibilidad ambiental.

7. Como concepto para el Desarrollo Sostenible de la comunidad.

El concepto de Desarrollo Sostenible se refiere a un enfoque que busca satisfacer las necesidades actuales de la comunidad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Es un paradigma que promueve un equilibrio entre los aspectos económicos, sociales y ambientales, reconociendo que estos tres pilares están interconectados y son fundamentales para el bienestar humano a largo plazo.

El Desarrollo Sostenible de la comunidad implica adoptar prácticas y políticas que promuevan el progreso económico de manera inclusiva, fomentando la equidad social y preservando el medio ambiente. Algunos aspectos clave incluyen:

Participación ciudadana: Involucrar activamente a los miembros de la comunidad en la toma de decisiones y en la planificación de acciones sostenibles. Esto garantiza que se tengan en cuenta las necesidades y aspiraciones de todos los grupos de la sociedad.

Gestión sostenible de recursos: Utilizar de manera responsable los recursos naturales, como el agua, evitando su agotamiento y minimizando los impactos ambientales negativos. Fomentar prácticas de conservación, eficiencia y reciclaje.

Promoción de la equidad social: Garantizar que todas las personas de la comunidad tengan acceso equitativo al servicio público del agua.

Conservación del medio ambiente: Proteger y preservar los ecosistemas naturales y la biodiversidad de la comunidad. Promover prácticas de conservación, restauración y uso sostenible de los recursos naturales. Mitigar los impactos negativos del desarrollo humano en el medio ambiente y adaptarse al cambio climático.

Educación y concienciación: Promover la educación y la concienciación ambiental en la comunidad, fomentando la comprensión de los desafíos y oportunidades del Desarrollo Sostenible. Capacitar a las personas para que tomen decisiones informadas y adopten estilos de vida sostenibles.

2.2 Marco teórico

El concepto de Desarrollo Sostenible de la comunidad es fundamental para abordar los desafíos actuales y futuros, como la pobreza, la desigualdad, el cambio climático y la degradación ambiental. Al adoptar este enfoque, las comunidades pueden construir un futuro próspero y equitativo, donde las necesidades de las generaciones presentes y futuras se satisfagan de manera sostenible.

Cada una de las siete propuestas mencionadas puede aportar a la investigación del cálculo de la HH en diferentes aspectos:

En la primera propuesta, se proporcionan datos esenciales que permiten calcular la HH de la empresa y comprender su uso del agua en la prestación de servicios públicos. Esta información facilita la cuantificación del consumo de agua y la identificación de áreas donde es posible implementar medidas para reducirlo.

En la segunda propuesta, es crucial comprender no solo la cantidad de agua consumida, sino también cómo dicho consumo afecta la calidad del agua. Esta comprensión es fundamental para evaluar los impactos ambientales y sociales asociados a la huella hídrica.

En la tercera propuesta, se busca identificar las interacciones entre la huella de carbono y la huella hídrica. Comprender la relación entre estas dos huellas es esencial para una gestión más integral de los recursos naturales y la promoción de la sostenibilidad.

En la cuarta propuesta, abordar la investigación sobre la planificación sostenible del suministro de agua conlleva la evaluación de la disponibilidad y la gestión a largo plazo de los recursos hídricos. Este enfoque contribuye a asegurar un suministro de agua sostenible para la comunidad sin comprometer la agotamiento de los recursos hídricos disponibles.

En la quinta propuesta, se destaca que una comunicación efectiva es esencial para abordar cuestiones relacionadas con la huella hídrica. Mejorar la comunicación entre las partes interesadas, que incluyen empresas, autoridades locales y la comunidad, fomenta la colaboración y la implementación de soluciones sostenibles.

En la sexta propuesta, la mejora de los informes de desempeño ambiental posibilita un seguimiento más preciso y transparente de las medidas implementadas para reducir la huella hídrica. Esto reviste gran importancia tanto para la rendición de cuentas como para la constante mejora de las prácticas sostenibles.

2.2 Marco teórico

En la séptima propuesta, la integración de la HH en el concepto de desarrollo sostenible de la comunidad implica que se reconoce el uso responsable del agua como un elemento fundamental de la sostenibilidad en su conjunto. Esto puede desempeñar un papel importante en la preservación de los recursos hídricos para las generaciones venideras.

2.2.2. Componente de un Organismo Operador

Los OO se encargan de operar, conservar y administrar los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, con el objetivo de dotar estos servicios a los habitantes de un municipio o de una entidad federativa. Cabe hacer mención de que un OO puede brindar el servicio a un municipio o parte de él, a dos o más municipios o parte de ellos, e inclusive puede brindar el servicio a municipios de dos entidades diferentes (Vargas, 2020). Entre los componentes que conforman un sistema de agua potable están:

- **Captación:** Consiste en recolectar y almacenar agua proveniente de diversas fuentes ya sean superficiales o subterráneas para su uso benéfico.
- **Potabilización:** Es un proceso por el que se realiza el tratamiento del agua con el objetivo de convertirla apta para el consumo sin que presente riesgo para la salud.
- **Distribución:** Es el proceso de llevar agua a los consumidores, a través de un conjunto de tuberías que se instalan en las vías de comunicación de los urbanismos.
- **Consumo:** Es el uso del agua en cualquier actividad en el hogar. se utiliza en riego, limpieza, cocción entre otros.
- **Depuración:** Consiste en un tratamiento al que se somete el agua para eliminar y retirar impurezas y agentes contaminantes.
- **Reutilización:** Es el proceso que permite volver a utilizar el agua que ha tenido anteriormente un uso municipal o industrial.
- **Vertido final:** El agua residual es vertida a los ríos, a los lagos o al mar. A menudo, se utiliza emisarios submarinos para asegurar que este vertido final no afecte negativamente a la calidad del agua.

2.3 Marco contextual

Estos componentes son fundamentales para garantizar el acceso al agua potable de calidad y la correcta gestión de las aguas residuales en un municipio o entidad federativa. Los OO desempeñan un papel crucial en su operación y mantenimiento, asegurando la continuidad y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento para el bienestar de la población.

2.3. Marco contextual

- **Ubicación y entorno económico del estado de Guanajuato:** El estado de Guanajuato es una de las 32 entidades federativas de México dividida en 46 municipios y ubicada geográficamente en una zona estratégica, en la que históricamente han confluído las distintas vías de comunicación que han enlazado el intercambio comercial de las tres principales áreas metropolitanas del país (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey); por lo que se convirtió en zona de paso, abastecimiento y provisión del comercio interno (INEGI, 2022). No obstante, tradicionalmente su peso estuvo fundamentado en el sector económico primario; siendo la minería durante la época colonial, y la agricultura durante los siglos XIX y XX, las más sobresalientes. Sin embargo, desde mediados de la década de 1990, inició un proceso de industrialización y expansión del sector servicios, especialmente el turismo, que diversificó su economía y aceleró su crecimiento. Esto ha transformado a la entidad en una de las de mayor incidencia en el crecimiento económico nacional (DENUE, 2013).

Está ubicado en el Bajío que se encuentra en la región centro norte del país; limita al norte con Zacatecas y San Luis Potosí, al este con Querétaro, al sur con Michoacán y al oeste con Jalisco como se muestra en la figura 2.1. Con 30,607 km² representa el 1.6% del total del territorio nacional siendo la décima entidad más pequeña del país (INEGI, 2022).

- **Población:** Su población en 2020 fue de 6,166.934 habitantes que representa el 4.9% de la población nacional siendo la sexta entidad más poblada por detrás de Estado de México, Ciudad de México, Jalisco, Veracruz y Puebla. Con 20,148 habitantes por km² es la sexta más densamente poblada, por detrás de la Ciudad de México, Estado de México, Morelos, Tlaxcala y Aguascalientes (SEP, 2022). El estado de Guanajuato

2.3 Marco contextual

cuenta con varias ciudades muy pobladas tales como: Acámbaro, Celaya, Ciudad de Guanajuato, Cortázar, Cuerámbaro, Dolores Hidalgo, Irapuato, León, Salamanca, San Miguel de Allende y Silao.

- **Ubicación del municipio de Guanajuato:** El municipio de Guanajuato se localiza en la región I-Noreste de la entidad, limitando al norte con San Felipe; al este con Dolores Hidalgo; al sur con Salamanca e Irapuato y al oeste con Silao y León. Teniendo como límites las coordenadas geográficas Entre los paralelos $21^{\circ} 14'$ y $20^{\circ} 49'$ de latitud norte; los meridianos $101^{\circ} 03'$ y $101^{\circ} 27'$ de longitud oeste; altitud entre 1,700 y 3,000 m. La extensión territorial del municipio de Guanajuato asciende a 1,014.54 m². Su área territorial representa el 3.28 % de la superficie total del estado (Iracheta, 2022).



Figura 2.1: Referencia Geográfica del Estado de Guanajuato.

Fuente: INEGI, 2022.

- **Descripción de las etapas de SIMAPAG:** El Sistema Municipal de Agua Potable y Alcatarillado de Guanajuato (SIMAPAG) es una entidad encargada de la gestión del agua en el municipio de Guanajuato, México. Sus operaciones involucran varias etapas, que pueden describirse de la siguiente manera:

2.3 Marco contextual

En la actualidad, SIMAPAG se abastece de fuentes superficiales, específicamente de presas. Estas presas se dividen en tres, como se puede observar en la figura 2.2, que son: Presa de la Soledad, la presa de la Esperanza y la presa de la Mata.

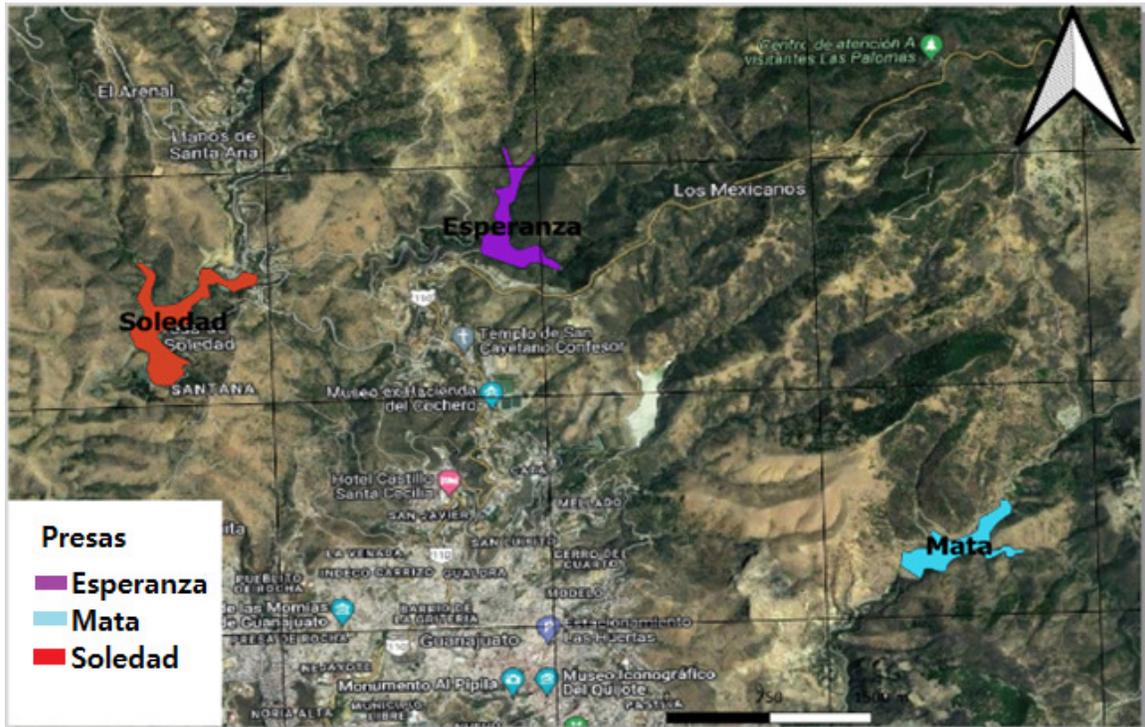


Figura 2.2: Fuentes de abastecimiento superficiales.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

SIMAPAG obtiene agua subterránea de una batería de pozos ubicada en el sistema de PuenteCillas, tal como se detalla en la figura 2.3. Esta batería de pozos está compuesta por un total de 23 pozos identificados como sigue:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, COYOTE, CHAPÍN, STA. CATARINA, STA. TERESA 1, SAT. TERESA 2 y STA. TERESA 3.

Estos pozos subterráneos son una fuente crucial de suministro de agua para satisfacer las necesidades de la población y las actividades en el municipio de Guanajuato.

2.3 Marco contextual

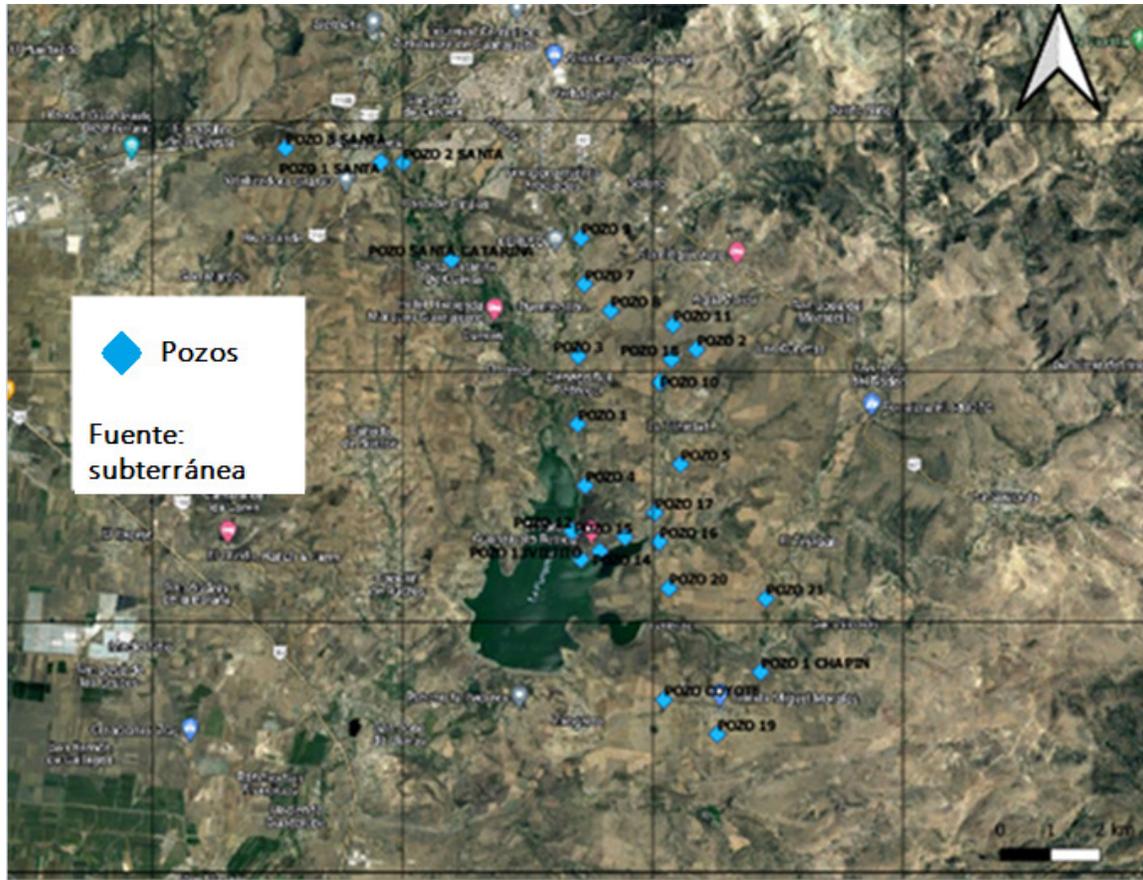


Figura 2.3: Fuentes de abastecimiento subterráneas.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

2.3 Marco contextual

Las dos plantas potabilizadoras superficiales de SIMAPAG están divididas en: La planta de los Filtros que se abastece de las presas de la Esperanza y la presa de la Soledad. La planta del Ing. Salvador Yáñez Castro se abastece de la presa de la Mata.

Dentro de la Dirección de Operación Hidráulica, en el Departamento de Red de Distribución, se han definido 34 sectores hidráulicos. Sin embargo, solamente 20 de estos sectores están equipados con sistemas de macromedición funcional que envían datos a través de la telemetría del organismo desde la salida de cada sector. Esto representa una cobertura del 58.82%. Además, es importante destacar que el 99% de los usuarios registrados en el padrón cuentan con sistemas de micromedición. La excepción a esta norma son algunas tomas ubicadas en la comunidad de Santa Teresa, que tienen cuotas fijas.

En la figura 2.4, los sectores sin macromedición se muestran en color rojo, mientras que aquellos con sistemas de macromedición están representados en verde.

En la figura 2.5, se muestran los porcentajes de distribución del consumo de agua para cada tipo de uso: doméstico, comercial, industrial, mixto y público. En la figura revela que el sector doméstico es el mayor consumidor de agua, representando el porcentaje más alto en comparación con los demás sectores. Esto indica que la mayor parte del agua se destina al uso en hogares, incluyendo actividades como el consumo humano, la limpieza, el riego de jardines, entre otros usos residenciales. El siguiente sector con mayor consumo de agua es el comercial, que abarca las actividades relacionadas con establecimientos comerciales, oficinas, hoteles, restaurantes y servicios públicos, entre otros. El tercer lugar lo ocupa el sector industrial, aunque significativo, representa una proporción menor en comparación con los sectores anteriores. Este sector incluye el consumo de agua en procesos industriales y manufactureros. El sector mixto, que agrupa actividades con múltiples usos del agua, como edificios con fines residenciales y comerciales, por ejemplo.

Finalmente, el sector público, que abarca el uso de agua en servicios gubernamentales y espacios públicos, es el que presenta el menor porcentaje de consumo de agua.

Estos porcentajes proporcionan una visión clara de cómo se distribuye el consumo de agua en diferentes sectores, lo que permite identificar las áreas con mayor demanda hídrica y desarrollar estrategias específicas para optimizar el uso del agua y promover prácticas sostenibles en cada sector.

2.3 Marco contextual

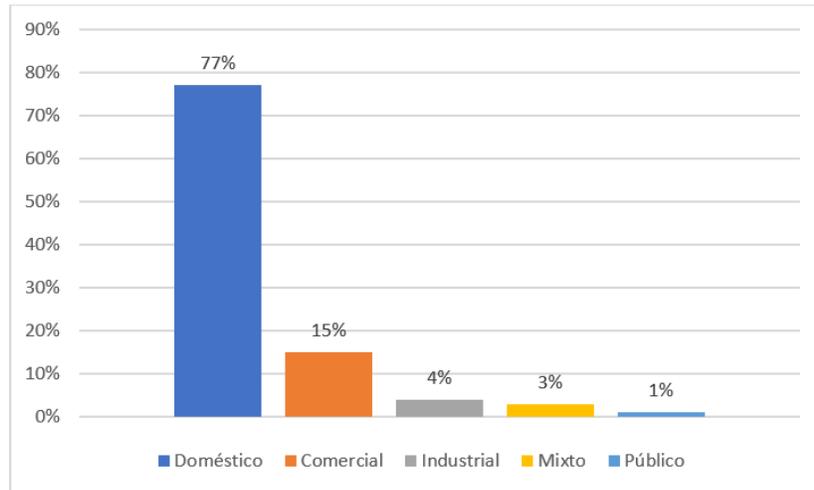


Figura 2.5: Distribución del agua.

Fuente: Elaboración propia.

Cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con un periodo de diseño de 25 años cada una. En zona sur está ubicada la PTAR (Ing. Estanislao Zárate Lujano); es una planta con reactores biológicos de alto estrés, diseño en carrusel y el año que inicio su funcionamiento fue en el 2012 como se aprecia en la figura 2.6.

En la zona centro es una planta con zanjas de oxidación biológica con nitrificación y desnitrificación, inició su funcionamiento en el año 2002 como se observa en la figura 2.7.

La nitrificación y desnitrificación son procesos biológicos clave en el tratamiento de aguas residuales, ya que ayudan a convertir el amonio y nitratos en formas menos tóxicas de nitrógeno y reducen la contaminación de las aguas. Estos procesos son especialmente importantes para mantener la calidad del agua y prevenir problemas ambientales relacionados con el exceso de nutrientes.

2.3 Marco contextual



Figura 2.6: PTAR (Ing. Estanislao Zárate Lujano)
Fuente: SIMAPAG, 2022.



Figura 2.7: PTAR (Centro).
Fuente: SIMAPAG, 2022.

2.4. Marco legal

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es la ley fundamental de México, de la cual se deriva todo su ordenamiento jurídico, incluyendo las leyes promulgadas por el Congreso de la Unión y los decretos emitidos por el Ejecutivo Federal, los cuales tienen aplicabilidad en todo el territorio nacional.

Los artículos 4, 27 y 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos tienen un impacto significativo en el cálculo de la HH en los OO y en la utilización de calculadora de HH en el ámbito doméstico. Estos artículos enfatizan la importancia de asegurar un acceso equitativo al agua, promover la sostenibilidad en la utilización de los recursos hídricos y establecer las responsabilidades de los municipios en la gestión del agua. Estas consideraciones son fundamentales para el cálculo de la HH en el contexto de los OO, ya que debe estar alineado con los principios legales y constitucionales para garantizar un uso responsable del agua.

la Ley Federal de Derechos en México impacta el cálculo de la HH al establecer las tarifas y regulaciones relacionadas con el uso del agua, proporcionar incentivos para la eficiencia en su uso, recaudar fondos para la gestión hídrica, y establecer requisitos normativos y de reporte. Estas disposiciones pueden influir en cómo los OO abordan la medición y gestión del agua en el país.

la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en México tiene un impacto directo en cómo se calcula y gestiona la HH, ya que establece regulaciones para la extracción, uso y protección del agua, promueve la gestión integral y sostenible del recurso, y establece responsabilidades legales y requisitos de monitoreo ambiental.

En resumen, las leyes en México ejercen una influencia directa sobre los OO. El cumplimiento de las regulaciones legales es esencial para asegurar un uso responsable y sostenible del recurso hídrico en el país, y esto, a su vez, tiene un impacto directo en la medición y la gestión de la HH de dichos organismos.

2.4 Marco legal

A continuación, se señalan las normas jurídicas de mayor relevancia para la regulación del recurso hídrico en México. Cada una de ellas desempeña un papel importante en la gestión, conservación y uso sostenible del agua en el país.

Normativa	Descripción
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos 1917 (Artículo 4, 27 y 115).	La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es la carta magna que rige las leyes y la organización del país. Los artículos 4, 27 y 115 de esta Constitución son de especial relevancia en materia de derechos sociales y servicios públicos, incluyendo el acceso al agua potable y al saneamiento.
Ley Federal de Derechos promulgada en diciembre de 1981.	La Ley Federal de Derechos establece el pago por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la Nación, así como por recibir servicios que presta el Estado en sus funciones de derecho público, excepto cuando se presten por organismos descentralizados.
Ley general de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente promulgada en 1988.	La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

2.4 Marco legal

<p>Decreto por el que se crea la CONAGUA, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 16 de enero de 1989.</p>	<p>Por medio del decreto se crea la CONAGUA como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (Actualmente está adscrita a la SEMARNAT), y se detallan sus funciones.</p>
<p>Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica promulgada en diciembre 1990.</p>	<p>Las obras públicas a que se refiere esta ley son las que permiten usar, aprovechar, explotar, distribuir o descargar aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo, así como su reparación, terminación, ampliación y modernización.</p>
<p>Ley de Aguas Nacionales, promulgada en diciembre de 1992.</p>	<p>La Ley General de Aguas Nacionales tiene como objetivo regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad en procura de un desarrollo sostenible.</p>
<p>Ley General de Bienes Nacionales, promulgada en mayo del 2004.</p>	<p>La Ley General de Bienes Nacionales tiene por objeto definir los bienes que forman parte del patrimonio de la Nación y establecer el régimen de dominio público de los bienes de la Federación y de los inmuebles de los organismos descentralizados de carácter federal. Además, esta ley regula la distribución de competencias entre las dependencias administradoras de inmuebles.</p>

Tabla 2.1: Legislación Mexicana sobre el recurso hídrico.

Fuente: Elaboración propia.

2.5. Marco Institucional

El Organismo Operador de SIMAPAG es una empresa dedicada a prestar el servicio de agua potable. Su oficina central se encuentra ubicada en la Avenida Juárez N°137, Centro, C.P. 36000, Guanajuato, Gto. Esta empresa se dedica a dirigir todas las acciones para brindar a los usuarios soluciones a sus necesidades. Promover un ambiente de trabajo satisfactorio mediante el cumplimiento de normas, políticas, procesos y procedimientos, para que los empleados realicen sus actividades con profesionalismo y dedicación. Desarrollar actividades o proyectos con la máxima calidad, compromiso y entrega, distinguiendo al personal por su confiabilidad.

- **Misión:** El objetivo principal es asegurar el suministro de agua potable y el saneamiento de aguas residuales en el municipio de Guanajuato.
- **Visión:** Ser un organismo de vanguardia, comprometido con la población y el desarrollo de nuestro personal, con el fin de satisfacer de manera eficiente y sostenible las necesidades de agua potable y saneamiento.

Capítulo 3

Marco metodológico

3.1. Población

La población de estudio que se considerará para los 46 municipios de Guanajuato se estimará en función del censo de la población proporcionado por el INEGI.

3.2. Muestra

Por otra parte, se seleccionó a SIMAPAG como muestra para implementar la metodología de cálculo de la HH mediante los métodos de macromedición y micromedición.

3.3. Desarrollo Metodológico

Para desarrollar la metodología se lleva la secuencia de los objetivos planteados y se explican en las siguientes etapas y dentro de las etapas, las fases:

3.3.1. Etapa 1. Calcular la Huella Hídrica para los 46 Organismos Operadores del estado de Guanajuato.

Esta etapa se enfoca en establecer la línea base que caracteriza el proyecto y definir los métodos para el cálculo de la HH en los OO. En este caso, se considerarán dos métodos: Macromedición y Micromedición ([Cervantes-Carretero, 2021](#)).

Actividad 1. Método de Macromedición

La Macromedición es el conjunto de elementos y actividades permanentes que tienen como objetivo obtener, procesar, analizar y divulgar los datos operacionales relacionados con los flujos, volúmenes, presiones y niveles en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Esta metodología requiere una cobertura superior al 90% y la presencia de un sistema de drenaje doble.

La Macromedición presenta diferentes casos según la configuración de las entradas y salidas del sistema:

- Macromedición en la entrada y Macromedición en la salida

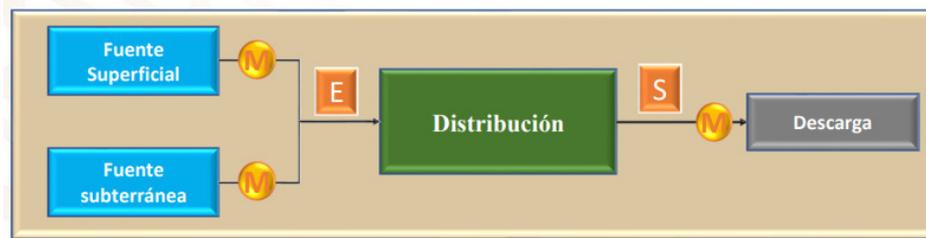


Figura 3.1: Macromedición (entrada y salida).

Fuente: Cervantes et al., 2021.

3.3 Desarrollo Metodológico

$$HH = \sum_{i=1}^j VEM_i - \sum_{m=1}^n VSM_m \quad (3.1)$$

Donde: VEM_i : Es el volumen medido de entrada a la fuente i , en $m^3/año$.

VSM_m : Es el volumen medido de salida hacia la descarga m , en $m^3/año$.

j : Subíndice para identificar la fuente de abastecimiento.

n : Subíndice para identificar el número de salida.

- **Estimación del volumen de entrada y Macromedición en la salida**

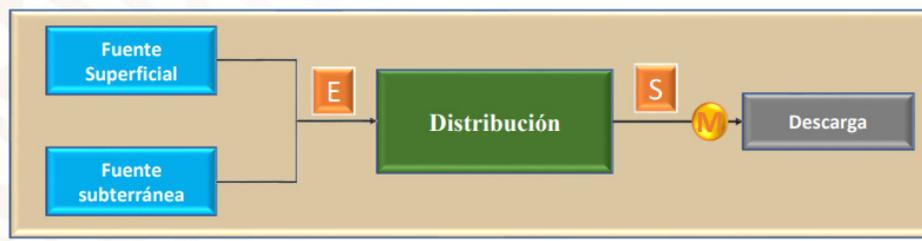


Figura 3.2: Estimación del volumen de entrada.

Fuente: Cervantes et al., 2021.

$$VEE = \sum_{k=1}^j \frac{Dot_k}{1000} * PS_k * 365 \quad (3.2)$$

Donde:

VEE_i : Es el volumen de entrada estimado, en $m^3/año$.

Dot : Dotación media del tipo de usuario k , en litros/habitantes/días.

PS : Población servida del tipo de usuario k , en habitantes.

k : Subíndice para identificar el tipo de usuario según la clasificación.

$$HH = VEE_i - \sum_{i=1}^j VSM_m \quad (3.3)$$

3.3 Desarrollo Metodológico

Donde:

VEE_i : Es el volumen de entrada estimado a la distribución i, en $m^3/año$.

VSM_m : Es el volumen medido de salida hacia la descarga m, en $m^3/año$.

j : Subíndice para identificar la fuente de abastecimiento.

m : Subíndice para identificar el número de salida.

■ Macromedición en la entrada y estimación del volumen de la salida

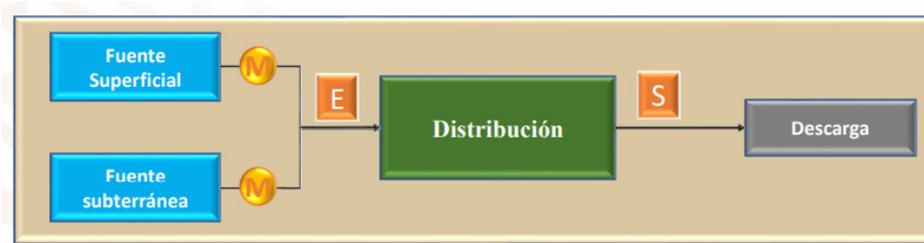


Figura 3.3: Estimación del volumen de salida.

Fuente: Cervantes et al., 2021.

$$VSE = \%RAR * n * \sum_{i=1}^j VEM_i \quad (3.4)$$

Donde:

VSE_m : Es el volumen de salida estimado hacia la descarga, en $m^3/año$.

$\%RAR$: Es el porcentaje de retorno de agua residual, el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS) considera un valor entre 70% y 75% del volumen de entrada. Para el caso de la evaluación de la HH se considera el valor del 75% (CONAGUA, 2019).

n : Es la cobertura de alcantarillado, en %.

VEM_i : Es el volumen de entrada de la fuente i, este puede ser medido o estimado, en $m^3/año$.

i : Subíndice para identificar la fuente de abastecimiento.

3.3 Desarrollo Metodológico

$$HH = \sum_{i=1}^j VEM_i - VSE_m \quad (3.5)$$

Donde:

VEM_i : Es el volumen de entrada medido de la fuente i, en $m^3/año$.

VSE_m : Es el Volumen de salida estimado hacia la descarga m, en $m^3/año$.

j : Subíndice para identificar la fuente de abastecimiento.

m : Subíndice para identificar el número de salida.

Actividad 2. Método de Micromedición

Para este caso en particular, es necesario contar con una cobertura del 100%. Se presentan dos casos distintos: el primero se refiere a la situación en la que no se miden las descargas, mientras que el segundo caso corresponde a la medición de las descargas.

■ Cuando se miden las descargas

$$HH = \frac{\sum VM}{E_f} - \sum_{m=1}^n VSM_m \quad (3.6)$$

■ Cuando no se miden las descargas

$$HH = \frac{\sum VM}{E_f} - VSE_m \quad (3.7)$$

Donde:

VM : Sumatoria de los volúmenes registrados en todas las viviendas durante el año en $m^3/año$.

E_f : Eficiencia física del sistema en %.

3.3 Desarrollo Metodológico

3.3.2. Etapa 2. Desarrollar un manual para la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.

Se tomarán en consideración los antecedentes de aplicaciones que permitan calcular la HH, es decir, el volumen de agua utilizado de manera directa en diversas actividades dentro del hogar.

3.3.3. Etapa 3. Implementar la calculadora de la Huella Hídrica en el sector doméstico de Guanajuato.

- Elaborar talleres de socialización.
- Informar por medio de la radio y redes sociales.
- Publicar el enlace en la página oficial de SIMAPAG.
- Publicar el QR en el recibo del agua.

Capítulo 4

Aplicación de la metodología

Este capítulo presenta los resultados alcanzados a partir de los objetivos que se han llevado a cabo.

4.1. Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

Se calculó la HH del OO de SIMAPAG desde el año 2015 hasta el 2021. Es importante mencionar que los datos correspondientes a los años 2015 a 2018 fueron seleccionados del Diagnóstico Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico, disponibles en la web. Por otro lado, los datos correspondientes a los años 2019 a 2021 fueron obtenidos directamente del Organismo Operador de SIMAPAG, quienes facilitaron la información necesaria para llevar a cabo el respectivo cálculo de la HH en cada caso. El objetivo de este proyecto es determinar la HH del OO de SIMAPAG a lo largo de estos seis años.

A continuación, se aplicará la metodología tanto para el caso de macromedición como para el de micromedición.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

4.1.1. Método por macromedición

Para el cálculo de la HH mediante el método de macromedición, se presentan varios casos que dependen de la configuración de las entradas y salidas del sistema:

- **Macromedición en las entradas y salidas:** Se aplicó el método cuando se macromiden las entradas y salidas del sistema. En este caso, se considera el volumen de entrada medido por el OO y el volumen de salida medido por el mismo en $m^3/año$, con una cobertura de macromedición del 100 %, como se muestra en la tabla 4.1.

Ejemplo:

Para calcular la HH del OO, se realizó la resta entre el volumen de entrada y el volumen de salida, tal como se muestra en la ecuación 4.1.

$$HH = \sum_{i=1}^j VEM_i - \sum_{m=1}^n VSM_m \quad (4.1)$$

$$HH = 8,509,702 \text{ m}^3/año - 6,347779 \text{ m}^3/año \quad (4.2)$$

$$HH = 2,161,923 \text{ m}^3/año \quad (4.3)$$

Luego, se dividió el resultado anterior por la población atendida, como se puede observar para cada uno en la tabla 4.3, para obtener la HH de la población.

$$HH = \frac{2,161,92}{143,888} = 15 \text{ m}^3/hab/año \quad (4.4)$$

Para calcular la HH por habitante, se multiplica el valor anterior por 1000 y se divide entre 365 días para convertir las unidades en litros por habitante por día (L/hab/día), como se muestra en la siguiente fórmula. Donde el valor anterior representa el valor previo obtenido en el cálculo de la HH.

$$HH = 15 * \frac{1000}{365} = 41 \text{ L/hab/día} \quad (4.5)$$

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

DATOS TÉCNICOS					
Años	$\sum_{i=1}^j VEM_i$ (m ³ /año)	$\sum_{i=1}^j VSM_m$ (m ³ /año)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)	HH (L/hab/día)
2015	8,509,702	6,347,779	2,161,923	15	41
2016	8,915,712	6,686,785	2,228,927	15	41
2017	9,659,065	7,244,232	2,414,833	16	43
2018	9,337,473	7,368,650	1,968,823	12	34
2019	9,636,278	7,085,202	2,551,076	15	42
2020	9,630,723	4,245,301	5,385,422	31	84
2021	8,969,740	3,444,694	5,525,046	30	83

Tabla 4.1: Macromedición en la entrada y en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.1 se observa el comportamiento de la HH del OO en m³/año y la HH por habitante en L/hab/día, desde el año 2015 hasta el 2021. La HH del OO se mantuvo constante en los años 2015, 2016, 2017 y 2019, con valores entre 2,161,923 y 2,414,833 m³/año. Sin embargo, en el año 2018, este valor disminuyó en un 25 %, alcanzando el resultado más bajo del periodo de estudio, con 1,968,823 m³/año en valores reales.

Por otro lado, los años más críticos en esta serie fueron del 2020 al 2021, donde se observa un aumento del 50 %, lo cual representa un gran volumen de agua no contabilizada. Según una entrevista realizada en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de SIMAPAG, este incremento se debe a que durante estos años, el OO no contaba con el mismo funcionamiento en los equipos utilizados para recuperar una gran parte del agua en las plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que llevó al colapso del sistema. En el último año, se produjeron mayores daños cuando llegaron las temporadas de lluvias, ya que las cajas colectoras, que corresponden a dos ríos, se llenaron de arena y se cerraron. Estos problemas están relacionados principalmente con el mantenimiento y los procedimientos implementados. Además, se registraron fugas de aire, que involucran la entrada no deseada o la liberación de aire en el sistema de tuberías o equipos de la planta. Estas fugas de aire pueden ocurrir por diversas

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

razones, como conexiones mal selladas, daños en las tuberías, válvulas defectuosas o problemas en el diseño del sistema. Estos problemas contribuyeron al deterioro general del sistema, así como a fallas en el suministro de energía eléctrica y daños en las tuberías debido a la corrosión tanto interna como externa.

Las fugas de aire pueden tener varias implicaciones en los procesos de una planta de tratamiento de agua:

- **Eficiencia de bombeo:** Las burbujas de aire en las tuberías pueden reducir la eficiencia de las bombas al ocupar espacio y disminuir el volumen útil para el flujo de agua. Esto puede aumentar la energía requerida para transportar el agua y afectar el rendimiento general del sistema.
- **Reducción de presión:** La presencia de aire en las tuberías puede causar una disminución de la presión en puntos específicos del sistema, lo que a su vez puede afectar la velocidad y la dirección del flujo de agua.
- **Desgaste del equipo:** La presencia constante de aire en el agua puede causar erosión y desgaste en las paredes internas de las tuberías y equipos. Esto puede llevar a un deterioro prematuro de los componentes y reducir la vida útil del equipo.
- **Capacidad de tratamiento:** En una planta de tratamiento de agua, la presencia de aire puede afectar la capacidad de ciertos procesos, como la sedimentación o la filtración, al interrumpir los patrones de flujo y la separación de partículas.
- **Mediciones inexactas:** La presencia de burbujas de aire en el agua puede interferir con las mediciones de caudal, niveles y otras variables, lo que puede llevar a una recopilación inexacta de datos y dificultar el monitoreo adecuado del sistema.
- **Calidad del agua tratada:** En algunos casos, la entrada de aire no deseado puede introducir oxígeno en el agua, lo que puede afectar la calidad del agua tratada al promover la oxidación de sustancias disueltas.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

Para minimizar los efectos negativos de las fugas de aire, es esencial realizar un mantenimiento adecuado de las tuberías y equipos, asegurarse de que las conexiones estén bien selladas y utilizar sistemas de purga de aire para eliminar el aire acumulado en las tuberías.

La pandemia del COVID-19 también tuvo un impacto significativo en los resultados de los años 2020 y 2021, ya que los usuarios domésticos permanecían en sus hogares y requerían un mayor uso del agua, tanto para consumo como para actividades que generan pérdidas, como el riego de plantas, el lavado de terrazas y el llenado de piscinas inflables que proporcionaban entretenimiento para los niños.

A pesar de estos problemas, la HH por habitante se mantuvo por debajo de los 100 L/hab/día recomendados por la ONU en los ODS para México, durante los siete años de estudio. Esto se debe en gran parte a que una parte significativa de la población de Guanajuato no se encontraba en el municipio, incluyendo a la población flotante como turistas, comerciantes, estudiantes, entre otros.

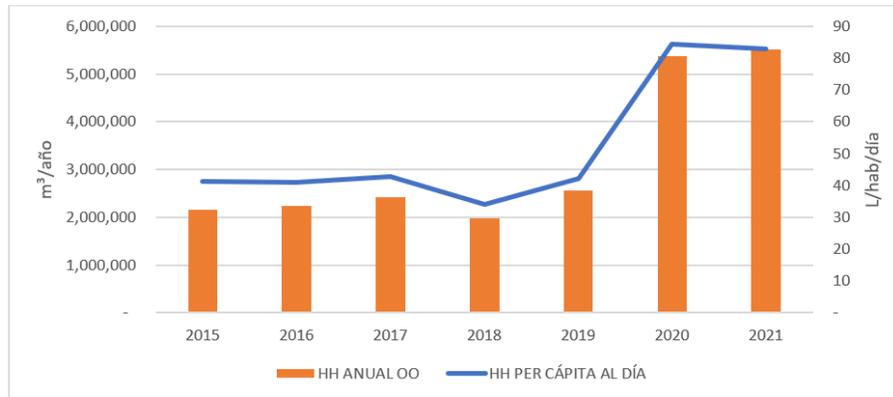


Figura 4.1: Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 1

Fuente: Elaboración propia.

- **Estimación del volumen en la entrada y macromedición en la salida:**
Para este caso, al estimar el volumen de agua de entrada, es necesario conocer la dotación media por tipo de usuario, basado en la población atendida, como se muestra en la tabla 4.2.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

Actualmente, en México, la dotación de agua varía de 150 hasta 350 l/hab/día. Sin embargo, la recomendación de la ONU en los ODS es de 100 l/hab/día ([Cervantes-Carretero, 2021](#)).

Para este caso, es necesario utilizar la siguiente ecuación, donde se reemplazan los valores obtenidos en la tabla.

Ejemplo:

$$VEE = \sum_{k=1}^j \frac{Dot_k}{1000} * PS_k * 365 \quad (4.6)$$

$$VEE = \frac{162}{1000} * 143,888 * 365 = 8,508,097 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.7)$$

Cuando se estima el volumen de entrada, se puede observar un aumento debido a que la dotación utilizada es mayor que la recomendada por la ONU en los ODS.

Después de haber calculado el volumen de entrada estimado, este se sustituye en la siguiente fórmula, restando el volumen de salida medido a gran escala por parte del organismo operador.

$$HH = VEE_i - \sum_{i=1}^j VSM_m \quad (4.8)$$

$$HH = 8,508,097 \text{ m}^3/\text{año} - 6,347,779 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.9)$$

$$HH = 2,160,318 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.10)$$

Luego, se realiza la división del resultado de 2,160,318 m³/año entre la población atendida de 143,888 habitantes, lo cual arroja el mismo valor de 15 m³/hab/año obtenido en el caso anterior. En cuanto a la HH por habitante, se obtiene un valor de 41 L/hab/día.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

DATOS TÉCNICOS						
Años	$\sum_{k=1}^j \frac{Dot_k}{1000}$ (L/hab/día)	PS_k (hab)	VEE_i (m ³)	$\sum_{i=1}^j VSM_m$ (m ³)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)
2015	162	143,888	8,508,097	6,347,779	2,160,318	15
2016	164	148,938	8,915,429	6,686,785	2,228,644	15
2017	172	154,146	9,677,286	7,244,232	2,443,054	16
2018	161	158,978	9,342,342	7,368,650	1,973,692	12
2019	160	165,515	9,666,076	7,085,202	2,580,874	16
2020	168	175,067	10,735,108	4,245,301	6,489,807	37
2021	164	182,735	10,938,517	3,444,694	7,493,823	41

Tabla 4.2: Estimación del volumen de entrada y macromedición en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se pueden observar los resultados de la HH del OO. y la HH por habitante. Se nota que se mantuvieron casi iguales que en el caso anterior, con la diferencia de que en el periodo del año 2020 al 2021 la HH por habitante superó los 100 L/hab/día. Significa que durante ese período, la cantidad promedio de agua utilizada por cada habitante en un día fue mayor de lo esperado o planificado, y esto se debió principalmente a la influencia de la pandemia del COVID-19.

En este contexto, la pandemia del COVID-19 podría haber tenido varios efectos que aumentaron el consumo de agua por habitante, como: Mayor higiene personal, Estancia en el hogar y Mayor conciencia de la higiene.

Estos factores, entre otros, podrían haber contribuido a que la HH por habitante superara los 100 L/hab/día. Esto indica que la demanda de agua por parte de la población aumentó durante la pandemia debido a las medidas de precaución y la conciencia de la higiene necesaria para prevenir la propagación del COVID-19.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

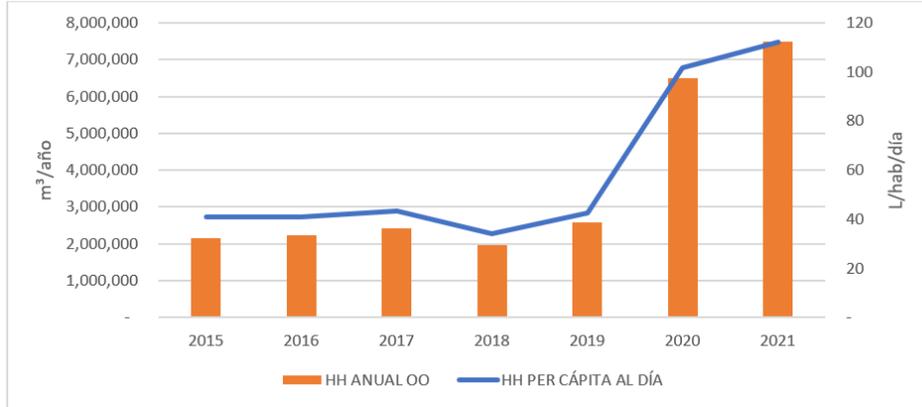


Figura 4.2: Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Macromedición en las entradas y estimación en las salidas:** Para este caso, al estimar el volumen de salida, se requiere conocer el porcentaje de retorno de agua residual. Según el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS), se considera un porcentaje de retorno del 70 % al 75 % para la evaluación de la HH. Además, es importante tener una cobertura de alcantarillado superior al 90 %. En este caso particular, se ha considerado necesario utilizar el 80 % como el porcentaje de retorno de agua residual para los años del 2015 al 2019, mientras que en los dos últimos años se ha tomado un porcentaje del 40 %, ya que gran parte de esta agua no retornaba a la planta, como se muestra en la tabla 4.3.

Por otra parte,

A continuación, se procede a calcular el volumen de salida estimado utilizando la siguiente ecuación.

Ejemplo:

$$VSE = \%RAR * n * \sum_{i=1}^j VEM_i \quad (4.11)$$

$$VSE = 0.80 * 0.91 * 8,509,702 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.12)$$

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

$$VSE = 6,195,063 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.13)$$

Al estimar el volumen de salida, se observa que el valor puede variar ligeramente en función del volumen de retorno presente en el sistema.

A continuación, se reemplazan los datos obtenidos en la siguiente ecuación, donde el volumen de entrada del OO es de 8,509,702 m³/año y el volumen de salida estimado es de 6,195,06 m³/año.

$$HH = \sum_{i=1}^j VEM_i - VSE_m \quad (4.14)$$

$$HH = 8,509,702 \text{ m}^3/\text{año} - 6,195,063 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.15)$$

$$HH = 2,314,639 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.16)$$

DATOS TÉCNICOS						
Años	RAR (%)	n (%)	$\sum_{i=1}^j VEM_i$ (m ³ /año)	VSE _m (m ³ /año)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)
2015	0.80	0.91	8,509,702	6,195,063	2,314,639	16
2016	0.80	0.92	8,915,712	6,561,964	2,353,748	16
2017	0.80	0.92	9,659,065	7,572,707	2,549,993	16
2018	0.80	0.92	9,337,473	7,320,579	2,465,093	17
2019	0.80	0.91	9,636,278	7,015,210	2,621,068	16
2020	0.40	0.90	9,630,723	3,467,060	6,163,663	35
2021	0.40	0.90	8,969,740	3,229,106	5,740,634	31

Tabla 4.3: Macromedición en la entrada y estimación en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

En la figura 4.3 se muestran los resultados obtenidos, al igual que en los dos casos anteriores. Se puede analizar que, independientemente del caso utilizado para el método de macromedición en un OO la metodología produce resultados similares.

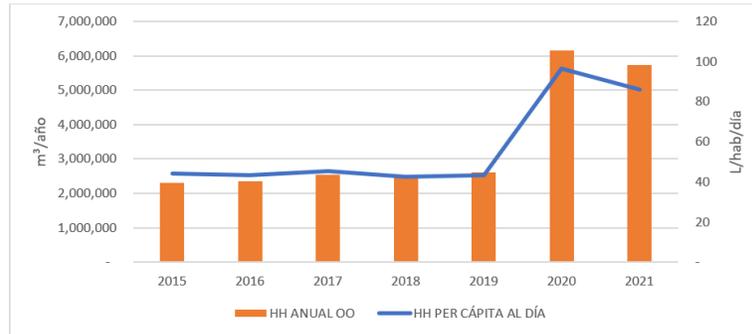


Figura 4.3: Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 3.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.4, se puede observar que al calcular la HH del OO para los casos 1, 2 y 3, los resultados permanecen constantes. Esto se debe a que al considerar el método en el que se miden de manera macro las entradas y salidas, se obtiene la HH total, que representa la diferencia entre los volúmenes de entrada y salida.

En el caso 2, cuando se estima el volumen de entrada y se miden las salidas, se produce un aumento en la HH debido a que la asignación de dotación es mayor.

En el caso 3, cuando se miden de manera macro las entradas y se estima el volumen de salida, este volumen resulta ser similar al caso 1. Esto indica que el volumen de salida estimado en el caso 3 es comparable al volumen de salida real medido en el caso 1. Sin embargo, es importante destacar que esta similitud puede variar dependiendo del porcentaje de retorno que se considere en el proceso de estimación.

En resumen, en la Figura 4.4 se observa que la HH varía dependiendo de si se miden las entradas y salidas de manera macro o se estiman los volúmenes de entrada y salida, lo que a su vez está relacionado con la dotación y el volumen de retorno en cada año.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

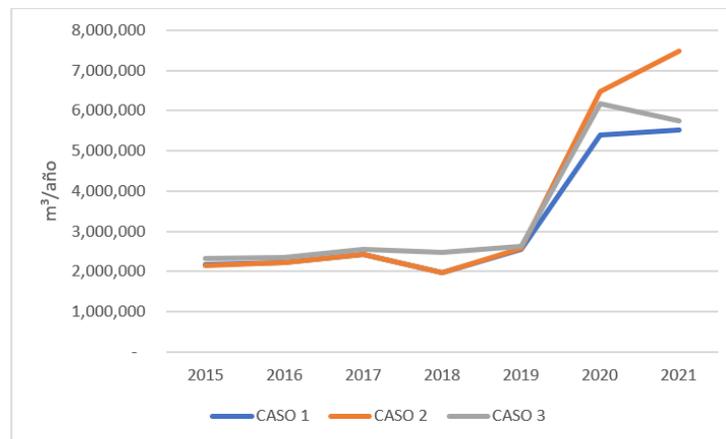


Figura 4.4: Comparación de los resultados de la HH para los casos 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Método por micromedición

Este método consta de dos casos, los cuales se aplican cuando se cuenta con la medición del agua facturada total en cada punto de entrega.

- **Micromedición cuando se miden las salidas:** En la tabla 4.4 se presentan los datos necesarios para llevar a cabo el cálculo de la HH utilizando este método. Los datos requeridos son los siguientes: **Volumen facturado durante todo el año;** se refiere al volumen total de agua que ha sido registrado y medido a lo largo del año en el sistema de distribución. **Eficiencia física de la red de distribución;** representa el porcentaje de agua que se pierde debido a fugas, roturas de tuberías u otros problemas en la red de distribución. Indica la eficiencia con la que se gestiona el agua en el sistema. **Porcentaje de cobertura;** es el porcentaje de la población que cuenta con acceso al servicio de agua potable. Indica la proporción de la población que se encuentra cubierta por el OO en términos de acceso al suministro de agua. **Volumen de salida macromedido;** es el volumen de agua que sale del OO y es medido a gran escala. Representa el volumen total de agua que es suministrado y consumido por los usuarios finales.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

Estos datos son fundamentales para realizar el cálculo de la HH y evaluar la gestión del agua en el organismo operador.

Para calcular la HH utilizando este método, se procede a reemplazar los datos de la tabla en la siguiente ecuación:

Ejemplo:

$$HH = \frac{\sum VM}{E_f} - \sum_{m=1}^n VSM_m \quad (4.17)$$

$$HH = \frac{5,630,577}{0.66} - 6,347,779 \quad (4.18)$$

$$HH = 2,183,398 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.19)$$

Luego, se divide el resultado obtenido anteriormente por la población atendida para obtener la HH del O.O.

$$HH = \frac{2,183,398}{143,888} = 15 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año} \quad (4.20)$$

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

DATOS TÉCNICOS					
Años	$\sum VM$ (m ³ /año)	E_f (%)	$\sum_{m=1}^n VSM_m$ (m ³ /año)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)
2015	5,630,577	0.66	6,347,779	2,183,398	15
2016	5,788,037	0.65	6,686,785	2,217,887	15
2017	6,129,946	0.63	7,244,232	2,485,841	16
2018	6,304,968	0.68	7,368,650	1,903,362	12
2019	6,201,693	0.64	7,085,202	2,604,943	16
2020	6,047,675	0.63	4,245,301	5,354,183	31
2021	6,048,397	0.67	3,444,694	5,582,764	31

Tabla 4.4: Micromedición cuando se miden las descargas.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la HH por habitante, se multiplica el valor anterior por 1000 y luego se divide entre 365 días, lo que resultaría en 41 L/hab/día como se muestra en la figura 4.5.

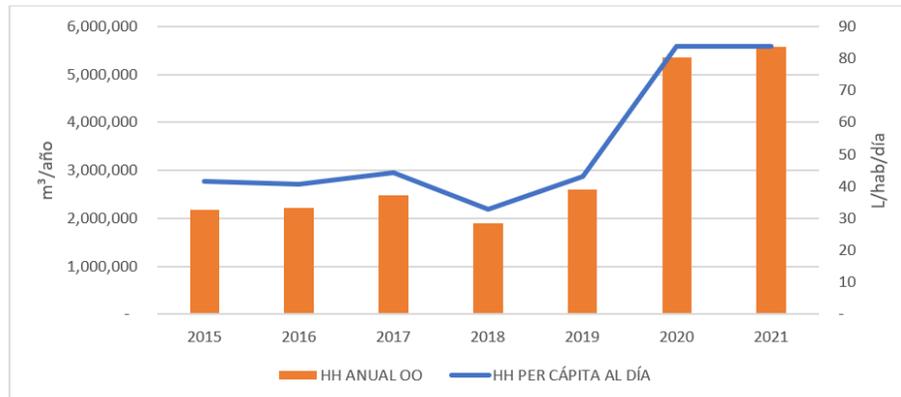


Figura 4.5: Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 4.

Fuente: Elaboración propia.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

- **Micromedición cuando no se miden las salidas:** Para este caso, en la tabla 4.5 se consideran también los volúmenes registrados de las viviendas durante el año, la eficiencia física y el volumen de salida estimado. La ecuación utilizada es la siguiente:

Ejemplo:

$$HH = \frac{\sum VM}{E_f} - \sum_{m=1}^n VSM_m \quad (4.21)$$

$$HH = \frac{5,630,577}{0.66} - 6,3195,063 \quad (4.22)$$

$$HH = 2,336,114 \text{ m}^3/\text{año} \quad (4.23)$$

DATOS TÉCNICOS					
Años	$\sum VM$ (m ³ /año)	E_f (%)	VSE_m (m ³ /año)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)
2015	5,630,577	0.66	6,195,063	2,336,114	16
2016	5,788,037	0.65	6,561,964	2,342,708	16
2017	6,129,946	0.63	7,572,707	2,157,366	14
2018	6,304,968	0.68	7,320,579	1,951,433	12
2019	6,201,693	0.64	7,015,210	2,674,935	16
2020	6,047,675	0.63	3,467,060	6,132,424	35
2021	6,048,397	0.67	3,229,106	5,798,352	32

Tabla 4.5: Micromedición cuando no se miden las descargas.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el mismo procedimiento del caso anterior para calcular la HH del OO y la HH por habitante utilizando los volúmenes registrados de las viviendas, la eficiencia física y el volumen de salida estimado como se muestra en la figura 4.6.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

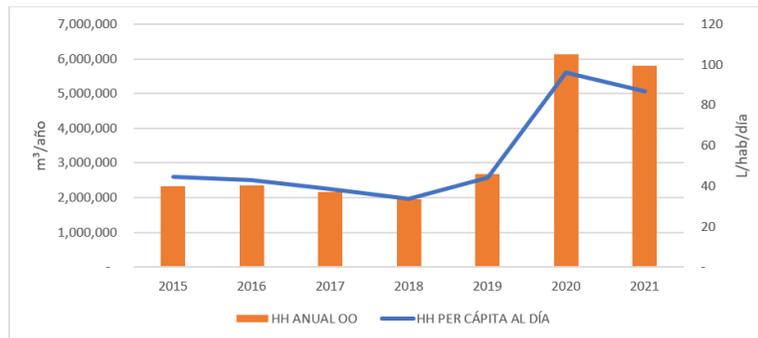


Figura 4.6: Resultados de la HH por habitante y del OO para el caso 5.

Fuente: Elaboración propia.

El término “**Agua no contabilizada**” se refiere a la cantidad de agua que se pierde o no se registra adecuadamente en el sistema de distribución de un OO de agua potable. Esta pérdida puede ocurrir debido a fugas en las redes de distribución, errores en la medición, conexiones ilegales o fraudulentas, entre otras razones (CONAGUA, 2019).

En la figura 4.7, se puede observar el porcentaje de agua no contabilizada en la red de distribución. Este porcentaje se calculó a partir de la diferencia entre el 100 % y la eficiencia física con la que el agua está ingresando al sistema.

El agua no contabilizada es una preocupación importante para los OO, ya que representa una pérdida económica y un uso ineficiente del recurso hídrico. Reducir la cantidad de agua no contabilizada es esencial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la gestión del agua y garantizar un suministro adecuado y confiable a la población. Por lo tanto, es importante implementar medidas y tecnologías para controlar y minimizar esta pérdida de agua.

4.1 Calcular la Huella Hídrica para el Organismo Operador de SIMAPAG.

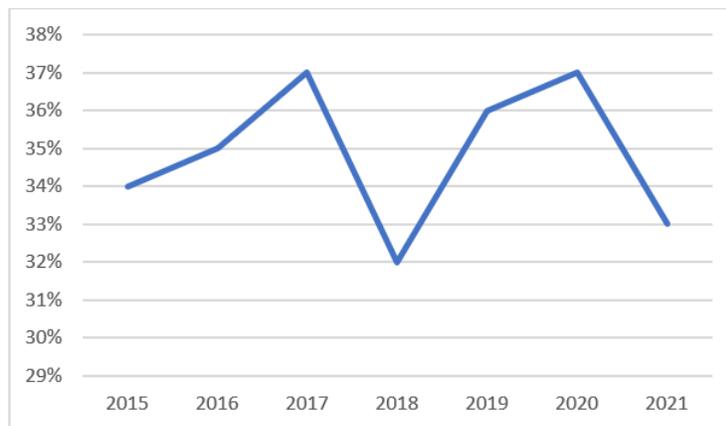


Figura 4.7: Resultados del agua no contabilizada.

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia en los volúmenes medidos entre el caso 4 (sin medir las salidas) y el caso 5 (donde se miden las salidas) se debe a la forma en que se lleva a cabo la medición en cada caso y cómo se contabilizan los flujos de entrada y salida en el sistema.

En el caso 4, donde no se miden las salidas, es posible que los flujos de agua que salen del sistema no se estén teniendo en cuenta. Esto puede llevar a una subestimación de los volúmenes totales de agua que realmente están siendo utilizados o consumidos en el sistema. En otras palabras, si no se mide lo que sale del sistema, es posible que se esté pasando por alto una parte significativa del consumo real de agua.

En el caso 5, donde se miden las salidas, se tiene una imagen más completa de la cantidad total de agua que entra en el sistema y la cantidad que sale. Esto permite una medición más precisa de los volúmenes de agua que se utilizan o consumen en el sistema.

En resumen, la diferencia en los volúmenes medidos entre estos dos casos como se muestra en la figura 4.8 se debe a la falta de medición de las salidas en el caso 4, lo que puede llevar a una subestimación de los volúmenes de agua reales en comparación con el caso 5, donde se mide tanto la entrada como la salida de agua de manera más completa y precisa.

4.2 Calcular la Huella Hídrica para los 46 OO del Estado de Guanajuato del año 2018.

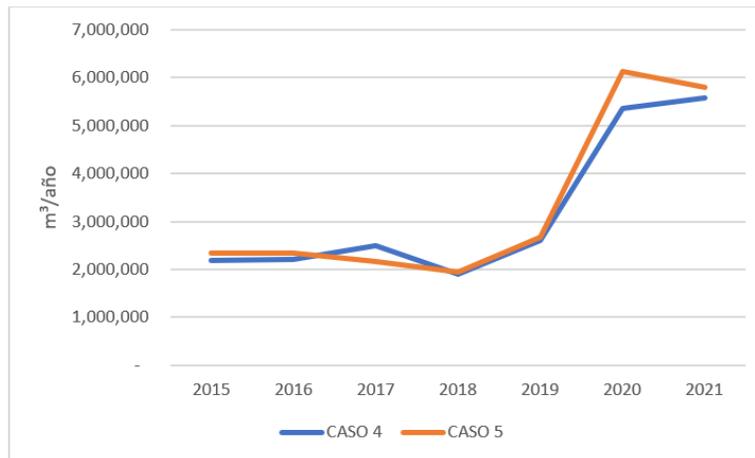


Figura 4.8: Comparación de los resultados de la HH para los casos 4 y 5.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Calcular la Huella Hídrica para los 46 OO del Estado de Guanajuato del año 2018.

Se realizó la recopilación de datos que complementan la línea base de la presente investigación, seleccionando los datos necesarios para calcular la HH de los 46 municipios del estado de Guanajuato en el año 2018. En el caso 1, donde se realizó la macromedición de las entradas y salidas de los 46 municipios, solo se contó con los datos necesarios de 24 OO, como se puede verificar en el anexo C.1.

En el caso 2, se realizó el cálculo de la HH cuando se estima el volumen de entrada y se macromiden las salidas, y se encontró que los mismos 24 municipios que se utilizaron en el caso anterior cuentan con la información requerida para llevar a cabo este análisis. De esta manera, se pudo obtener una visión más completa de cómo el agua es utilizada en estos municipios y cómo se relaciona con la sostenibilidad del recurso.

En el caso 3, se llevó a cabo el cálculo de la HH cuando se macromiden las entradas y se estima el volumen de salida. En este caso, también se contó con la información necesaria de los mismos 24 municipios que fueron considerados en los casos anteriores. Esto permitió obtener una perspectiva adicional sobre la gestión del agua en estos municipios y su impacto

4.2 Calcular la Huella Hídrica para los 46 OO del Estado de Guanajuato del año 2018.

en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

En el último caso, se llevó a cabo el cálculo de la HH utilizando el método de micromedición, que consiste en medir las descargas de agua tanto cuando se cuenta con una cobertura del 100% de micromedición como cuando no se miden las descargas y cuando se miden las descargas. En este análisis, se encontró que solo 8 de los 46 municipios cuentan con una cobertura completa de micromedición. El anexo C.4 y C.5 se presentan los resultados obtenidos para este caso.

Con estos diferentes enfoques de cálculo de la HH, se ha logrado obtener un panorama más completo y detallado del uso del agua en los 24 municipios estudiados. Estos resultados son de gran relevancia para la toma de decisiones en la gestión del agua y la planificación de recursos hídricos, ya que permiten identificar áreas de mejora y promover prácticas más sostenibles en el manejo del recurso hídrico. Asimismo, estos hallazgos pueden servir como base para futuras investigaciones y análisis en el campo de la HH y la gestión del agua.

A continuación, se presentan los resultados gráficos de la HH del OO y la HH por usuario para cada municipio en el año 2018, como se muestra en la figura 4.9.

En la figura se puede observar la variación de la HH entre los diferentes municipios, lo que proporciona una visión clara de cómo el consumo de agua difiere en cada localidad. Los valores representados en la gráfica muestran el volumen total de agua utilizado por el OO y la cantidad de agua consumida por cada habitante en cada municipio.

Es importante destacar la importancia de evaluar y gestionar la HH a nivel local, ya que se pueden identificar municipios con un alto consumo de agua y otros con un uso más eficiente y sostenible. Estos resultados son fundamentales para implementar estrategias específicas que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico en cada localidad y promover prácticas responsables y sostenibles en el uso del agua.

Durante el periodo analizado, se pudo observar que el municipio de Salamanca presentó la mayor HH registrando un valor anual de 3,878,466 m³/año y una HH per cápita de 53 L/hab/día. Esto se debió principalmente a que tuvo una eficiencia física del 52%, lo cual indica que solo el 52% del agua que ingresó al sistema de abastecimiento se entregó efectivamente a los usuarios finales. El restante 48% del agua se perdió en el sistema debido a diversas razones, como fugas en las redes de distribución, problemas en la medición, entre

4.2 Calcular la Huella Hídrica para los 46 OO del Estado de Guanajuato del año 2018.

otros factores.

En contraste, el municipio de San Diego de la Unión se destacó por tener la mejor eficiencia del 90 % durante ese mismo año. Esto significa que únicamente el 10 % del agua se perdió en el sistema, lo que indica una gestión más eficiente y responsable del recurso hídrico en comparación con otros municipios.

Estas diferencias en la eficiencia física y la cantidad de agua perdida en el sistema pueden deberse a diversos factores, como la infraestructura de abastecimiento y distribución, la calidad de las redes de agua, la implementación de tecnologías para reducir las pérdidas y fugas, entre otros aspectos.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia, ya que permiten identificar las áreas que requieren mejoras en la gestión del agua en cada municipio. A través de esta información, los OO pueden implementar estrategias específicas para reducir las pérdidas de agua y optimizar el uso del recurso hídrico, lo que contribuirá a la sostenibilidad y conservación del agua en la región.

En conclusión, los resultados gráficos de la HH para cada municipio en el año 2018 brindan información valiosa para la toma de decisiones en la gestión del agua, contribuyendo a la conservación y sostenibilidad de este recurso esencial para la vida.

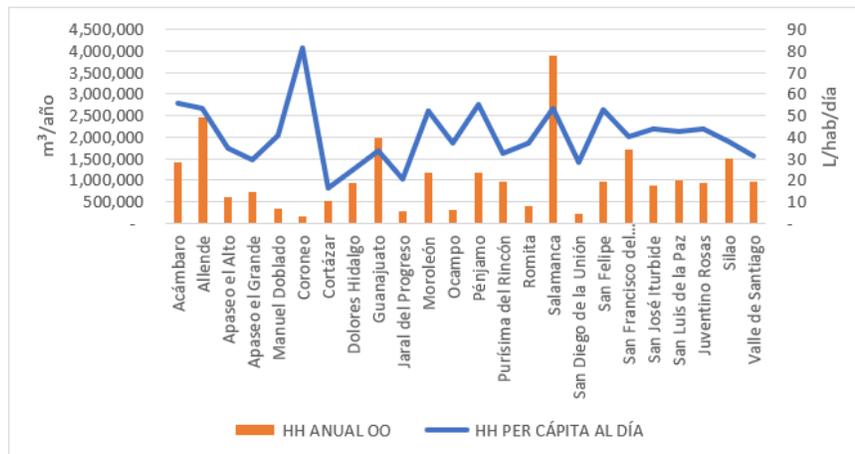


Figura 4.9: Resultados de la HH por habitante y de los 24 OO para el caso 1.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Desarrollar un manual para la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.

4.3. Desarrollar un manual para la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.

El objetivo de este manual es proporcionar una guía detallada y práctica que permita medir y analizar el consumo de agua en el hogar. Este manual proporcionaría instrucciones paso a paso para recopilar datos sobre el uso de agua en diferentes actividades diarias, como bañarse, lavar ropa, regar jardines, entre otras.

Además, el manual incluye herramientas y cálculos para determinar la cantidad total de agua consumida por la vivienda en un período de tiempo específico, así como identificar posibles áreas de mejora para reducir el consumo y mejorar la eficiencia hídrica.

Un manual para la evaluación de la HH en una vivienda es una herramienta valiosa para promover la conciencia sobre el uso responsable del agua, fomentar prácticas sostenibles en el hogar y contribuir a la preservación y conservación de este recurso vital.

El manual se estructurará en secciones claras y concisas, que abarcarán los siguientes aspectos:

Introducción: Breve descripción sobre la importancia de evaluar la HH en una vivienda y su impacto en el consumo responsable del agua.

Objetivos: Definición de los objetivos del manual y lo que se pretende lograr al realizar la evaluación de la Huella Hídrica en una vivienda.

Antecedentes: Se refieren a los estudios, investigaciones, y desarrollos teóricos que se han realizado previamente sobre este concepto y su aplicación en diferentes sectores y contextos.

Metodología: Explicación detallada de los pasos y procedimientos a seguir para realizar la evaluación de la Huella Hídrica, incluyendo la recopilación de datos.

Cálculos: Instrucciones para realizar los cálculos necesarios para determinar la cantidad total de agua consumida.

El manual estará diseñado de manera clara y accesible, con gráficos, tablas y ejemplos ilustrativos para facilitar la comprensión.

MANUAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA HH EN UNA VIVIENDA



MARIA ALEJANDRA ORTEGA GUERRA
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AGUA

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. ANTECEDENTES ¿PARA QUÉ Y DÓNDE SE APLICA EL CÁLCULO DE LA HH?	6
3. EVALUACIÓN A NIVEL MUNICIPAL	7
3.1. Objetivo de la guía	7
3.2. Pasos para la evaluación de la Huella Hídrica.....	7
3.3. Establecer alcances y objetivos.....	8
3.3.1. Identificación del sector	8
3.3.2. Definir la batería de preguntas	9
3.4. Justificación de la batería de preguntas	10
3.5. Cuantificación de la Huella Hídrica	11
3.6. Calculadora de la HH (CAL-HIDRYC)	18
4. BIBLIOGRAFÍA	19
5. ANEXOS	20
5.1. Consumos de dispositivos: convencionales vs ahorradores.....	20
1.1. Calculadora - CAL-HIDRYC.....	21
EQUIPO DE TRABAJO	24

FIGURAS

Figura 1. Pasos para la cuantificación de la HH.	8
--	---

TABLAS

Tabla 1. Cálculos de la HH para el uso del inodoro.	11
Tabla 2. Cálculos de la HH para el uso del lavamanos.	12
Tabla 3. Cálculos de la HH para el uso de la ducha.	12
Tabla 4. Cálculos de la HH para el uso del lavaplatos.	13
Tabla 5. Cálculos de la HH para el uso de la lavadora.	14
Tabla 6. Cálculos de la HH para el uso del lavadero.	14
Tabla 7. Cálculos de la HH para el uso de la limpieza.	15
Tabla 8. Cálculos de la HH para el uso del riego del jardín.	15
Tabla 9. Cálculo de la HH para el uso del lavado de automóvil.	16
Tabla 10. Cálculo de la HH para el uso de la tina.	17
Tabla 11. Cálculo de la HH para el uso de la lavavajilla.	17
Tabla 12. Sumatoria total de la HH.	18

GLOSARIO

Bajo consumo: modelos modernos.

CAL-HIDRYC: calculadora de huella hídrica.

Consumo doméstico: se refiere a la cantidad de agua utilizada en las viviendas, ya sea para las diferentes actividades.

Convencionales: modelos antiguos.

Dotación: es la cantidad de agua signada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema.

HH: huella hídrica.

HH Azul: es un indicador del uso consuntivo de agua dulce superficial o subterránea.

HH Directa: es el volumen de agua dulce consumida, utilizada y contaminada de manera directa por las actividades diarias que realizamos.

HH Gris: indica el grado de contaminación del agua dulce que puede estar asociada con los procesos de fabricación de un producto y son su cadena de suministro.

HH Verde: es un indicador de uso humano del agua de lluvia, se refiere a la precipitación sobre la tierra que no se infiltra ni escurre, sino que permanece en el suelo.

ONU: organización mundial de la salud.

RPU: identificador de usuario del servicio de agua potable.

SIMAPAG: Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guanajuato.

Uso y consumo de agua: en la evaluación de HH, el uso de agua se refiere al volumen de agua facturado y el consumo a la HH Azul.

WFN: Water Footprint Network, organización encargada de difundir la Huella Hídrica, y brindar soporte técnico para la evaluación de esta.

PRESENTACIÓN

En vista de la crisis mundial de agua potable que enfrentamos en la actualidad debido a la escasez, causada no solo por el crecimiento poblacional, sino también por el aumento de la demanda, se ha reconocido la necesidad de diseñar una metodología que permita calcular el consumo hídrico en el sector doméstico del municipio de Guanajuato.

Es imprescindible desarrollar una metodología que facilite la creación de una guía práctica para evaluar el cálculo del consumo hídrico en el sector doméstico, ya que estos consumos, aunque pueden generar impactos menores, requieren un manejo adecuado. La metodología será adaptable y accesible para cualquier usuario que desee utilizarla.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años viene cobrando importancia el concepto de HH con el fin de conocer en qué cantidades y dónde es consumida el agua necesaria para que se puedan producir los diferentes bienes y servicios que consumimos. El cálculo de la HH supone una ventaja competitiva en el mundo empresarial y en el desarrollo de estrategias de responsabilidad social corporativa, además de cubrir numerosos requisitos legales y normativos.

El agua es un recurso escaso, en algunas zonas del planeta es una amenaza incluso mayor a la del cambio climático, por ello resulta crucial mejorar en todo el mundo su gestión. El primer paso que deben dar las organizaciones que quieren avanzar en este sentido es conocer al detalle su HH. El objetivo de este ejercicio es tener una herramienta útil que permita a cualquier usuario identificar cómo mejorar la gestión del agua.

2. ANTECEDENTES ¿PARA QUÉ Y DÓNDE SE APLICA EL CÁLCULO DE LA HH?

El concepto de Huella Hídrica nació en el año 2002 de la mano del profesor Arjen Hoekstra, Desde entonces han surgido diferentes iniciativas, tales como la de la Water Footprint Network (WFN) o la de la ISO 14046 entre otras, empujando el concepto de HH hacia múltiples direcciones distintas. Para entender qué es la HH de un individuo, comunidad o negocio, se define como el volumen total de agua dulce utilizada para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad o producidos por la empresa (Aldaya et al., 2012). Conceptualmente, la HH es un indicador multidimensional compuesto por variables que, para su mejor entendimiento, se definen de la siguiente manera:

- Huella Hídrica Verde: es un indicador del uso humano del agua de lluvia. Se refiere a la precipitación sobre la tierra que no se infiltra ni escurre, sino que permanece en el suelo o en la vegetación. Es la parte de la precipitación que se evapora o que transpiran las plantas.

- Huella Hídrica Azul: es un indicador de uso consuntivo de agua dulce superficial o subterránea. Es decir, para llevar a cabo actividades humanas específicas, como la producción de alimentos, la industria o el consumo doméstico.

- Huella Hídrica Gris: indica el grado de contaminación del agua dulce que puede estar asociada con los procesos de fabricación de un producto y con su cadena de suministro. Se refiere al volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga de contaminantes en comparación con las concentraciones normales y las normas de calidad de agua.

Dada la importancia del agua para la vida y el desarrollo de las actividades productivas en la ciudad, surge la necesidad de incluir el tema de la HH como uno de los elementos estratégicos en el modelo de desarrollo para los hogares. Por lo tanto, su aplicabilidad a los dispositivos ahorradores es muy importante debido a que tiene como ventajas.

- Menor extracción de agua
- Recarga de acuíferos
- Distribución del costo total del agua por metros cúbicos
- Ahorro en costos en mantenimiento
- Disponibilidad de agua para crecimientos futuros
- Menos ingresos, pero también inversiones
- Apoyo en la economía familiar
- Disminución en el saneamiento

3. EVALUACIÓN A NIVEL MUNICIPAL

3.1. Objetivo de la guía

La siguiente guía tiene como objetivo facilitar la evaluación de la Huella Hídrica (HH) en el marco municipal, presentando de manera sistemática los pasos a seguir. Está destinado a los organismos operadores como también puede ser usado para estudiantes e investigadores.

3.2. Pasos para la evaluación de la Huella Hídrica

A continuación, se describen los cuatro pasos para la evaluación de la HH con los detalles incluidos:

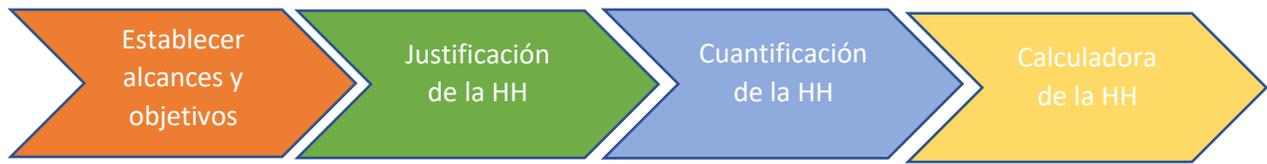


Figura 1. Pasos para la cuantificación de la HH.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Establecer alcances y objetivos

El primer paso para la evaluación de la HH es la identificación de límites y alcances que son parte del plan de cuantificación.

- ¿Cuál es el objetivo de estudio?
- ¿Para qué se está realizando la evaluación de la HH?
- ¿Qué Huellas se van a medir? (azul, verde, gris)
- ¿Cuál es la información que se puede obtener?
- ¿Qué sector se van a trabajar?
- ¿Qué preguntas se deben hacer para el cálculo de la HH?

3.3.1. Identificación del sector

Los sectores que conforman un municipio pueden identificarse por medio de las categorías de cobro por concepto de servicio de agua potable y alcantarillado, definidas por la empresa de agua potable en cada municipio. Por ejemplo, una empresa de agua potable y saneamiento en una ciudad evaluada usualmente tendrá definidos cuatro sectores básicos que son:

- Residencial
- Industrial
- Comercial
- Publico

Esta división ayuda a identificar los sectores relevantes en la ciudad y a trabajar con información ordenada. Durante el proyecto se trabajó con el sector residencial del municipio de Guanajuato.

Sector residencial

Se refiere al sector doméstico del municipio. Dentro de los límites se puede identificar la subdivisión de éste en zonas, barrios, colonias, etc. Esta división puede servir para realizar la evaluación de Huellas a un nivel más específico y, si los datos están disponibles, mejorar la resolución de la información. Este sector es evaluado desde el enfoque de grupo de consumidores, y se evalúa la HH Azul.

3.3.2. Definir la batería de preguntas

El primer paso para minimizar nuestra HH es sin duda conocerla, para así plantearnos el reducirla. Para conocer que consumo de agua se utiliza en el hogar es importante plantearnos algunas de las preguntas propuestas a continuación.

- ¿En qué zona vive?
- ¿Cuántas personas viven en la casa?
- ¿Cuánto pagan por el servicio de agua potable?
- ¿Cuántas veces al día utilizan el inodoro en el hogar?
- ¿Cuántas veces al día utilizan el lavamanos?
- ¿Por cuánto tiempo dejan la llave de lavamanos abierta?
- ¿Cuántas veces al día utilizan la ducha?
- ¿Cuántos minutos tarda en ducharse?
- ¿Cuántas veces al día lavan los platos?
- ¿Cuánto tiempo dejan la llave del grifo de la cocina abierta?
- ¿Cuántos litros de agua utilizan de la llave para cocinar al día?
- ¿Cuántas veces a la semana lavan la ropa a máquina?
- ¿Cuántas veces a la semana lavan la ropa a mano?
- ¿Cuántas veces a la semana realizan limpieza en la casa?
- ¿Cuántas veces a la semana riegan las plantas?
- ¿Cuántas veces al mes lavan el auto?
- ¿Cuántas veces a la semana se dan baños en la tina?
- ¿Cuántas veces a la semana utilizan el lavavajilla?

3.4. Justificación de la batería de preguntas

En este paso se dará a conocer la justificación para cada una de las preguntas que se propusieron en el ítem anterior. Controlar cuidadosamente nuestros hábitos de limpieza personal contribuye de manera importante a mejorar la eficiencia en el consumo de agua y de energía (Chuni et al., 2017).

- Inodoros de bajo consumo son modelos modernos que funcionan con volúmenes de 6 litros o menos por descarga. Los inodoros convencionales, son modelos antiguos que funcionan con volúmenes de 16 litros o más por descarga (Robles et al., 2015).
- Los lavamanos de bajo consumo son modelos modernos que funcionan con volúmenes de 6 litros o menos por minutos. Los convencionales son modelos antiguos que funcionan con 11 litros o más por minutos (Robles et al., 2015).
- Las duchas de bajo consumo son modelos modernos que funcionan con volúmenes de 10 litros o menos por minuto. Las convencionales son modelos antiguos que funcionan con volúmenes de 20 litros o más por minuto (OMS, 2022).
- Lavaplatos de bajo consumo son modelos modernos, funcionan con volúmenes de 5 litros o menos por minutos. Los convencionales son modelos antiguos, funcionan con volúmenes de 10 litros o más por minutos (Baquero, 2013).
- Las lavadoras de bajo consumo son modelos modernos que funcionan con volúmenes de 80 litros por descarga. Las convencionales son modelos antiguos que funcionan con volúmenes de 200 litros por descarga (Silva et al., 2012).
- Una manguera de 1/2 pulgada suministra 34 litros de agua por minuto (Charpentier, 2021).
- El consumo de agua varía significativamente dependiendo de lo alto que llenes la tina, una tina de baño utiliza en promedio de 90 a 180 litros de agua (Higgins, 2021).
- Lavavajilla de bajo consumo son modelos modernos que funcionan con volúmenes de 10.5 litros o menos por descarga. Las convencionales son modelos antiguos que funcionan con volúmenes de 45 litros o más por descarga (Ibáñez et al., 2009).

3.5. Cuantificación de la Huella Hídrica

El siguiente paso consiste en los cálculos matemáticos para calcular la HH en el sector doméstico para cada una de las actividades que se realizan en el hogar, los cálculos utilizados en la metodología de la calculadora son una estimación, los valores que aparecen en color rojo se dejan fijo para cada ecuación.

- Para calcular la HH del uso del inodoro (WC) se requiere saber qué tipo de inodoro tiene en su hogar, ya sea de bajo consumo que funcionan con volúmenes de 6 litros o menos por descarga o convencional que funcionan con volúmenes de 16 litros o más por descarga, esto se multiplica por el número de veces que lo utiliza al día.

Tabla 1. Cálculos de la HH para el uso del inodoro.

FÓRMULAS	
Bajo consumo	$6 \text{ litros} \times \# \text{ veces al día}$
Convencional	$16 \text{ litros} \times \# \text{ veces al día}$
CÁLCULOS	
Bajo consumo	$6 \text{ litros} \times 10 \text{ veces al día} = 60 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 21.9 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Convencionales	$16 \text{ litros} \times 10 \text{ veces al día} = 160 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 58.4 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Sumatoria de la HH	$HH = 21.9 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 58.4 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \quad \mathbf{80.3 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH del uso del lavamanos se necesita escoger si es de bajo consumo que funcionan con volúmenes de 6 litros o menos por minutos o convencional que funciona con 11 litros o más por minutos por el número de veces que utiliza el lavamanos y por el tiempo en que deja abierta la llave.

Tabla 2. Cálculos de la HH para el uso del lavamanos.

FÓRMULAS	
Bajo consumo	$6 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en dejar la llave abierta}$
Convencional	$11 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en dejar la llave abierta}$
CÁLCULOS	
Bajo consumo	$6 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 10 \text{ veces al día} \times 2 \text{ min} = 120 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 43.8 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Convencionales	$11 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 10 \text{ veces al día} \times 2 \text{ min} = 220 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 80.3 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Sumatoria de la HH	$HH = 43.8 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 80.3 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 124.1 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para el cálculo de la HH en el uso de la ducha, se necesita saber el tipo de ducha que tiene, ya sea de bajo consumo que funcionan con volúmenes de 10 litros o menos por minutos o convencional que funciona con volúmenes de 20 litros o más por minuto por el número de veces al día que se ducha por los minutos que tarda en ducharse.

Tabla 3. Cálculos de la HH para el uso de la ducha.

FÓRMULAS	
Bajo consumo	$10 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en que tarda en ducharse}$
Convencional	$20 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en que tarda en ducharse}$
CÁLCULOS	
Bajo consumo	

$10 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 3 \text{ veces al día} \times 20 \text{ min} = 600 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 219 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
<p>Convencionales</p> $20 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 3 \text{ veces al día} \times 20 \text{ min} = 1200 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 438 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
<p>Sumatoria de la HH</p> $HH = 219 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 438 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 657 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para el cálculo de la HH para el uso del lavaplatos, se requiere saber qué tipo de fregadero tiene, si es de bajo consumo funcionan con volúmenes de 5 litros o menos por minutos o convencional funcionan con volúmenes de 10 litros o más por minuto, esto se multiplica por el número de veces al día que lo utiliza y por los minutos en que deja la llave abierta.

Tabla 4. Cálculos de la HH para el uso del lavaplatos.

FÓRMULAS
<p>Bajo consumo</p> $5 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en que deja llave abierta}$
<p>Convencional</p> $10 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ veces al día} \times \text{minutos en que deja la llave abierta}$
CÁLCULOS
<p>Bajo consumo</p> $5 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 3 \text{ veces al día} \times 4 \text{ min} = 60 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 21.9 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
<p>Convencional</p> $10 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 3 \text{ veces al día} \times 4 \text{ min} = 120 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 43.8 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
<p>Sumatoria de la HH</p>

$$HH = 21.9 \frac{m^3}{año} + 43.8 \frac{m^3}{año} = 65.7 \frac{m^3}{año}$$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH del uso de la lavadora, se necesita saber qué tipo de lavadora tiene, si es de bajo consumo, funciona con volúmenes de 80 litros o menos por descarga o convencional que funcionan con volúmenes de 200 litros o menos por descarga, luego se multiplica por el número de veces que lava en la semana.

Tabla 5. Cálculos de la HH para el uso de la lavadora.

FÓRMULAS	
Bajo consumo	$80 \text{ litros} \times \# \text{ vez a la semana}$
Convencional	$200 \text{ litros} \times \# \text{ veces a la semana}$
CÁLCULOS	
Bajo consumo	$80 \text{ litros} \times 1 \text{ veces a la semana} = 80 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 m^3}{1 \text{ litro}} = 4.16 \frac{m^3}{año}$
Convencional	$200 \text{ litros} \times 1 \text{ veces a la semana} = 200 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 m^3}{1 \text{ litro}} = 10.4 \frac{m^3}{año}$
Sumatoria de la HH	$HH = 4.16 \frac{m^3}{año} + 10.4 \frac{m^3}{año} = 14.56 \frac{m^3}{año}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH del uso del lavadero, se multiplica 19 litros que es lo que en promedio tiene una cubeta por el número de veces que lava en la semana por el número de cubetas que utiliza.

Tabla 6. Cálculos de la HH para el uso del lavadero.

FÓRMULAS	
Lavado a mano	$19 \text{ litros} \times \# \text{ veces por semana} \times \# \text{ de cubetas}$
CÁLCULO	
Lavado a mano	

$$19 \text{ litros} \times 2 \text{ veces a la semana} \times 5 \text{ cubetas} = 190 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}}$$

$$= 9.88 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH de la limpieza del hogar, se multiplica 19 litros que es lo que en promedio tiene una cubeta por el número de veces que limpia en la semana por el número de cubetas que utiliza.

Tabla 7. Cálculos de la HH para el uso de la limpieza.

FÓRMULAS	
Lavado a mano	$19 \text{ litros} \times \# \text{ veces por semana} \times \# \text{ de cubetas}$
CÁLCULO	
Lavado a mano	$19 \text{ litros} \times 2 \text{ veces a la semana} \times 4 \text{ cubetas} = 152 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}}$ $= 7.904 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH para el riego del jardín, se necesita saber si lo hace con regadera o con manguera, por el número de veces que riega el jardín en la semana, por el número de regadera o cubetas que utiliza.

Tabla 8. Cálculos de la HH para el uso del riego del jardín.

FÓRMULAS	
Regaderas	$10 \text{ litros} \times \# \text{ de veces a la semana} \times \# \text{ regaderas}$
Manguera	$34 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ de veces a la semana} \times \text{ minutos en regar el jardín}$
CÁLCULOS	
Regaderas	$10 \text{ litros} \times 1 \text{ vez semana} \times 5 \text{ regaderas} = 50 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 2.6 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Manguera	

$34 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 1 \text{ vez semana} \times 15 \text{ min} = 510 \frac{\text{litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semana}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 26.52 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
<p>Sumatoria de la HH</p> $HH = 2.6 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 26.52 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 29.12 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH del lavado de automóvil, se necesita saber si utiliza cubeta o manguera, por el número de veces al mes que lava su automóvil, por el número de cubetas que utiliza o el tiempo en que deja abierta la llave.

Tabla 9. Cálculo de la HH para el uso del lavado de automóvil.

FÓRMULAS	
Manguera	$34 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \# \text{ de veces al mes} \times \text{minutos en que deja abierta la llave}$
Cubeta	$19 \text{ litros} \times \# \text{ de veces al mes} \times \# \text{ cubetas}$
CÁLCULOS	
Manguera	$34 \frac{\text{litros}}{\text{min}} \times 1 \text{ vez al mes} \times 60 \text{ min} = 2040 \frac{\text{litro}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 24.48 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Cubeta	$19 \text{ litros} \times 1 \text{ vez al mes} \times 10 \text{ cubetas} = 190 \frac{\text{litro}}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 2.28 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Sumatoria de la HH	$HH = 24.48 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 2.28 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 26.76 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH del consumo de agua de una tina, varia significativamente dependiendo de lo alto que llene la tina, una tina de baño utiliza en promedio de 90 a 180 litros de agua.

Tabla 10. Cálculo de la HH para el uso de la tina.

FÓRMULAS	
Hasta la mitad	$90 \text{ Litros} \times \# \text{ veces a la semana}$
Hasta arriba	$220 \text{ Litros} \times \# \text{ veces a la semana}$
CÁLCULOS	
Hasta la mitad	$90 \text{ Litros} \times 1 \text{ veces a la semana} = 90 \frac{\text{Litros}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ Semanas}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 4.68 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Hasta arriba	$220 \text{ Litros} \times 1 \text{ veces a la semana} = 220 \frac{\text{Litros}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ Semanas}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 11.44 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Sumatoria de la HH	$HH = 4.68 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + 11.44 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 16.12 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH de una lavavajilla, se necesita saber el tipo, que puede ser de bajo consumo que funcionan con volúmenes de agua de 10.5 litros por descarga o las convencionales que funcionan con volúmenes de 45 litros o más por descarga, por el número de veces que la utiliza en la semana.

Tabla 11. Cálculo de la HH para el uso de la lavavajilla.

FÓRMULAS	
Bajo consumo	$10.5 \text{ litros} \times \# \text{ veces a la semana}$
Convencional	$45 \text{ litros} \times \# \text{ veces a la semana}$
CÁLCULOS	
Bajo consumo	$10.5 \text{ litros} \times 3 \text{ vez a la semana} = 31.5 \frac{\text{Litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 1.638 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$
Convencional	$45 \text{ litros} \times 2 \text{ vez a la semana} = 90 \frac{\text{Litro}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} \times \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ litro}} = 4.68 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$

Sumatoria de la HH

$$HH = 1.638 \frac{m^3}{año} + 4.68 \frac{m^3}{año} = 6.318 \frac{m^3}{año}$$

Fuente: Elaboración propia.

- Para calcular la HH total se suman los resultados de cada uso por actividad en el hogar.

Tabla 12. Sumatoria total de la HH.

FÓRMULA

$$\begin{aligned} HH = & \text{Inodoro} + \text{Lavamanos} + \text{Ducha} + \text{Cocina} + \text{Lavadora} + \text{Lavado a mano} \\ & + \text{Limpieza} + \text{Riego de plantas} + \text{Automovil} + \text{Tina de baño} \\ & + \text{Lavavajilla} = 1038 \frac{m^3}{año} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia

3.6. Calculadora de la HH (CAL-HIDRYC)

Esta calculadora le ayudará a estimar al usuario el volumen de agua utilizado en el hogar, a través de una serie de preguntas simples sobre las rutinas diarias. El valor de la calculadora de la HH radica en su capacidad para ayudar a los usuarios a comprender como usan el agua y como pueden contribuir con este recurso. A continuación, el usuario podrá ingresar de dos formas, por medio del QR o un enlace para medir su HH.



<https://calhydric.netlify.app/>

4. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Aldaya et al. (2012). *The Water Footprint Assessment Manual*. Routledge, 0 edition. .

Baquero, M. T. (2013). *Water saving and reuse in the building in the city of Cuenca, Ecuador*. Universidad de Cuenca.: SSN: 1390-9274.

Charpentier. (2021). *Cómo calcular el flujo del agua a través las mangueras*. CONAGUA.

Chuni et al. (2017). *Direct and indirect urban water footprints of the United States*. *Water Resources Research*, 53(1):316–327. eprint: .

Higgins. (2021). *Capacidad de una tina promedio*. CONAGUA.

Ibáñez et al. (2009). *Investigación sobre potenciales de eficiencia con el empleo de lavavajillas*. .

OMS. (2022). *Organización Mundial de la Salud*.

Robles er al. (2015). *Manejo sustentable del agua*.

<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6771/Manejo%20sostenible%20del%20agua.pdf>.

Silva et al. (2012). *Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

5. ANEXOS

5.1. Consumos de dispositivos: convencionales vs ahorradores

Función	Equipos convencionales	Dispositivos ahorradores	Ahorro total	% ahorro
 WC	16 LPD	6 LPD	10 LPD	62.5 %
 Lavamanos	11 lt/min	6 lt/min	5 lt/min	45.5 %
 Regadera	20 lt/min	10 lt/min	10 lt/min	50 %
 Trastes	6 lt/min	2 lt/min	4 lt/min	66.7 %
 Lavadora	200 lt	80 lt	120 lt	60 %
 Lavavajillas	45 lt	10.5 lt	34.5 lt	76.7 %
Promedio				60.23 %

1.1. Calculadora - CAL-HIDRYC

USO DEL BAÑO

4/18



¿Cuántas veces al día utilizan el inodoro en el hogar?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

De bajo consumo



Convencionales



LAVABO DE BAÑO

5/18



¿Cuántas veces al día utilizan el lavamanos?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

De bajo consumo



Convencionales



DUCHA DE BAÑO

6/18



¿Cuántas veces al día utilizan la ducha?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

De bajo consumo



Convencionales



USO EN LA COCINA

7/18



¿Cuántas veces al día lavan los platos?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

De bajo consumo



Convencionales



USO EN LA COCINA

8/18



¿Cuántos litros de agua utilizan de la llave para cocinar al día?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

LAVADO DE ROPA

9/18



¿Cuántas veces a la semana lavan la ropa en maquina?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar. Si no tienen lavadora, haz click en "SIGUIENTE")

De bajo consumo



Convencionales



LAVADO A MANO

10/18



¿Cuántas veces a la semana lavan la ropa a mano?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar. Si no lavan la ropa a mano, haz click en "SIGUIENTE")

¿Cuántas cubetas utilizan para lavar la ropa a mano?

LIMPIEZA

11/18



¿Cuántas veces a la semana realizan limpieza general de la casa, incluyendo baños, cocina, habitaciones, terrazas, patio, Etc.?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar)

¿Cuántas cubetas utilizan?

RIEGO DE PLANTAS

12/18



¿Cuántas veces a la semana riegan las plantas con regadera?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar. Si no tienen plantas que regar, haz click en "SIGUIENTE")

¿Cuántas regaderas utilizan?

AUTOMÓVIL

13/18



¿Cuántas veces al mes lavan el auto con manguera?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar. Si no tienen automóvil o comparten el automóvil con otras familias, haz click en "SIGUIENTE")

TINA DE BAÑO

14/18



¿Se dan baños en la tina? Si es así, ¿Hasta dónde llenan la tina?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar, en caso de que no tengan tina de baño, haz click en "SIGUIENTE")

¿Con qué frecuencia lo hacen por semana?

LAVAVAJILLAS

15/18



¿Cuántas veces a la semana utilizan el lavavajillas?

(Contemple en su respuesta a todos los miembros del hogar. Si no tienen lavavajillas, haz click en "SIGUIENTE")

De bajo consumo

Convencionales

EQUIPO DE TRABAJO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA (CAMPUS GTO), UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Dra. Xitlali Virginia Delga Galván

Ing. María Alejandra Ortega Guerra

Dr. José de Jesús Mora Rodríguez

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA (IMTA)

M.A. Eduardo Alexis Cervantes Carretero

COLABORADORES

MEng. Álvaro Javier Patiño Saucedo

SIMAPAG

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

4.4. Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

- Se llevó a cabo un taller de socialización con la empresa SIMAPAG para compartir los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. El objetivo principal de este taller fue compartir los resultados de la calculadora desarrollada y obtener diferentes puntos de vista y opiniones sobre la herramienta.

A través de este taller, se pudo constatar que la calculadora cumple con los requisitos necesarios para aplicar el cálculo de la HH por usuario. Además, se aseguró que todas las actividades del proyecto fueron cumplidas y se demostró que la construcción de la calculadora siguió el orden correcto de los objetivos establecidos, obteniendo resultados coherentes y consistentes.

La retroalimentación y opiniones obtenidas durante el taller contribuyeron a mejorar y validar la funcionalidad de la calculadora, garantizando así su utilidad y efectividad en el cálculo de la HH.

- Se logró implementar exitosamente la calculadora diseñada en un grupo de estudiantes de la Universidad de Guanajuato. Durante esta implementación, se llevaron a cabo varios ejemplos prácticos que mostraron el consumo de agua en diferentes actividades realizadas en el hogar.

El objetivo principal de esta implementación fue incentivar a la comunidad estudiantil y brindarles un mayor conocimiento sobre el tema de la HH, el cual es crucial para una gestión adecuada del agua.

A través de los ejemplos realizados, los estudiantes pudieron comprender de manera práctica cómo se calcula y se evalúa el consumo de agua en su vida diaria. Esto les permitió tomar conciencia de la importancia de utilizar el agua de manera eficiente y adoptar prácticas sostenibles en su hogar.

La implementación de la calculadora en este grupo de estudiantes fue un paso importante para promover la educación y conciencia sobre el uso responsable del agua, contribuyendo así a una mejor gestión de este recurso vital.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

- La colaboración entre SIMAPAG y las estaciones de radio permitió difundir la existencia y disponibilidad de la calculadora a un amplio público. A través de programas de radio y espacios dedicados al tema del agua y la sostenibilidad, se informó a los oyentes sobre la existencia de la calculadora y se proporcionó el enlace para acceder a ella.

La difusión de la calculadora por medio de la radio fue una estrategia efectiva para llegar a una audiencia diversa y llegar a diferentes comunidades. La colaboración entre SIMAPAG y las estaciones de radio permitió transmitir información relevante sobre el uso responsable del agua y la importancia de medir y evaluar la HH.

Al utilizar la radio como medio de difusión, se logró alcanzar a una amplia audiencia, incluyendo a aquellos que no tienen acceso regular a internet o no están familiarizados con las plataformas digitales. Esta estrategia permitió que personas de diferentes edades y niveles de educación tuvieran la oportunidad de conocer y utilizar la calculadora.

- La inclusión del enlace en la página oficial de SIMAPAG en Facebook permitió que los usuarios tuvieran acceso directo a la calculadora y pudieran utilizarla para estimar su Huella Hídrica. Esta publicación en la página web del organismo operador brindó visibilidad y accesibilidad a la herramienta para un amplio público.

Al proporcionar el enlace en la página oficial, SIMAPAG demostró su compromiso con la promoción del uso responsable del agua y la concientización sobre la importancia de medir y evaluar el consumo hídrico. Esta acción facilitó a los usuarios el acceso a una herramienta práctica que les permitió comprender su impacto en la Huella Hídrica y tomar decisiones informadas en relación al uso del agua.

La publicación del enlace en la página oficial de SIMAPAG contribuyó a difundir la calculadora de manera efectiva, alcanzando a los visitantes del sitio web y brindándoles la oportunidad de utilizar esta herramienta para evaluar su consumo de agua y adoptar prácticas más sostenibles.

Esta iniciativa demuestra el compromiso de SIMAPAG con la educación y la participación ciudadana en la gestión del agua, al proporcionar a los usuarios una herramienta fácil de usar y accesible a través de su plataforma en línea.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.



Figura 4.10: Pagina oficial en Facebook.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

- Se logró publicar el código QR en el recibo del servicio de agua a partir del mes de abril de este año. Con el objetivo de facilitar el acceso a la calculadora de HH y fomentar su uso entre los usuarios del servicio de agua, se implementó la inclusión de un código QR en los recibos. Este código permite a los usuarios escanearlo con sus dispositivos móviles y acceder directamente a la calculadora en línea. La publicación del código QR en los recibos del servicio de agua brinda una manera conveniente y fácil para que los usuarios puedan acceder a la calculadora de HH. Al escanear el código, los usuarios son redirigidos automáticamente a la página de la calculadora, donde pueden ingresar los datos correspondientes a su consumo de agua y obtener información detallada sobre su HH.

Esta estrategia de inclusión del código QR en los recibos busca promover la conciencia sobre el uso responsable del agua y brindar a los usuarios una herramienta práctica para evaluar su propio consumo. Al integrar el acceso a la calculadora en el recibo, se aprovecha un punto de contacto directo con los usuarios y se les brinda la oportunidad de reflexionar sobre su impacto en el consumo de agua.

La implementación del código QR en los recibos del servicio de agua refleja el compromiso de SIMAPAG en promover prácticas sostenibles y proporcionar a los usuarios las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas sobre su consumo de agua. Con esta iniciativa, se espera que los usuarios del servicio de agua puedan acceder fácilmente a la calculadora de la HH, generar conciencia sobre su impacto en el consumo de agua y tomar acciones para reducir su HH personal.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.



Figura 4.11: Recibo del servicio de agua potable.

Fuente: SIMAPAG, 2023.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

4.4.1. Resultados de la implementación de la calculadora.

Guanajuato se divide en dos zonas para la distribución del agua: la zona sur y la zona centro. En la zona sur se encuentran los siguientes barrios: Villas, Manantial, Caminera, Cervera, Yerbabuena, Carbonera, Puenteceillas, Santa Teresa Santa Catarina, Tres Estrellas, Terrazas, Teresas Ex Hacienda, Biznagas, Marfil, Chapín, Cajones, Ciénega, Presita, Pozo 7 y Trinidad. Esta zona atiende a un total de 94,965 habitantes, como se muestra en la figura 4.15.

Por otro lado, en la zona centro se encuentran los barrios de Venado 1 y 2, Venada, Filtros, Mellado, Borrego y Mata. Esta zona cuenta con una población atendida de 81,971 habitantes. La división de Guanajuato en estas dos zonas permite una distribución eficiente del agua y un mejor servicio a la población en cada una de ellas.

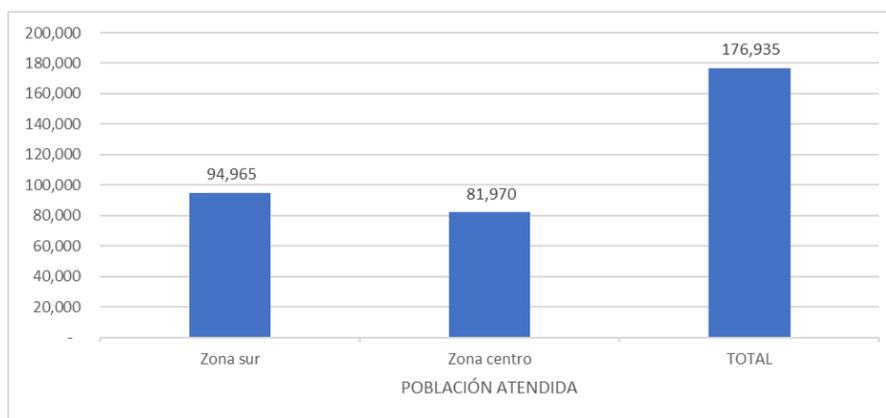


Figura 4.12: Población atendida del municipio de Guanajuato.

Fuente: SIMAPAG,2023.

Se realizó el cálculo del consumo de agua en ambas zonas en relación a las actividades que requieren su uso con una muestra de 300 habitantes, de los cuales se escogieron los más significativos para realizar el respectivo análisis. Los resultados revelaron que en la zona sur, con una población de 106 personas, se consume un total aproximado de 8,844 metros cúbicos al año. En la zona centro 124 personas se registran con un consumo anual de alrededor de 15,119 m³/año, como se muestra en la figura 4.13.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

Estos datos reflejan el consumo de agua promedio en cada zona y son importantes para comprender la demanda y uso del recurso hídrico en el área. La información obtenida contribuye a la gestión adecuada y eficiente del agua en Guanajuato.

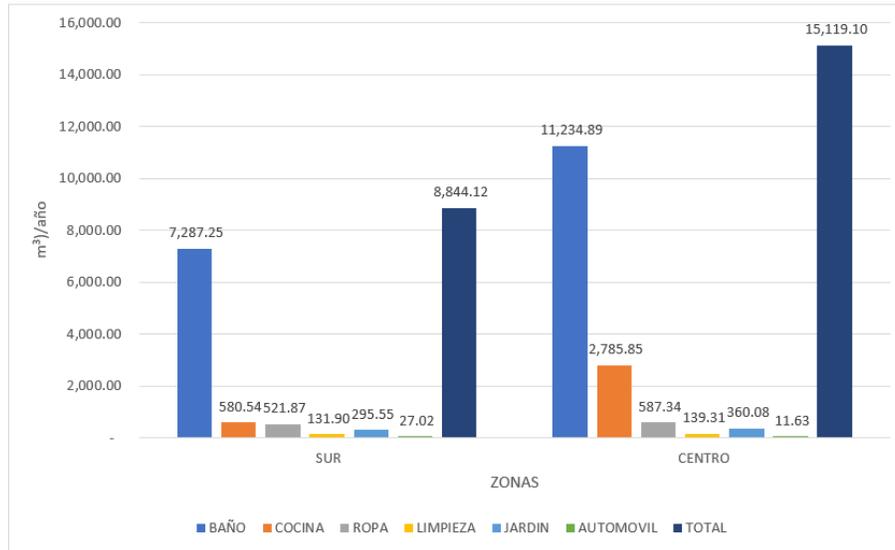


Figura 4.13: Resultados del consumo de la zona sur y la zona centro.

Fuente: Elaboración propia.

Al calcular la HH por habitante, como se ilustra en la figura 4.14, se obtuvo un valor de 228 L/hab/día para la zona sur, en contraste con la zona centro, que registró una HH por habitante de 334 L/hab/día, esto registrado en el periodo del 2022 al 2023. Esta situación guarda una estrecha relación con la recomendación de un consumo diario por persona de menos de 100 litros por día. No obstante, es motivo de preocupación observar que, en la práctica, cada mexicano consume en promedio entre 228 y 234 litros de agua diariamente. Esto resalta una marcada disparidad entre las pautas sugeridas y la realidad vivida. Esta discrepancia puede atribuirse en parte al diseño de la calculadora utilizada y al hecho de que las personas encuestadas no estimaron con precisión la duración de la apertura de un grifo. En este contexto, la percepción general parece ser que se deja el grifo abierto durante periodos prolongados, lo que repercute en una HH alta. Por lo tanto, esta herramienta desempeña un papel crucial al concienciar a las personas sobre la necesidad de utilizar el agua de manera más responsable y eficiente.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

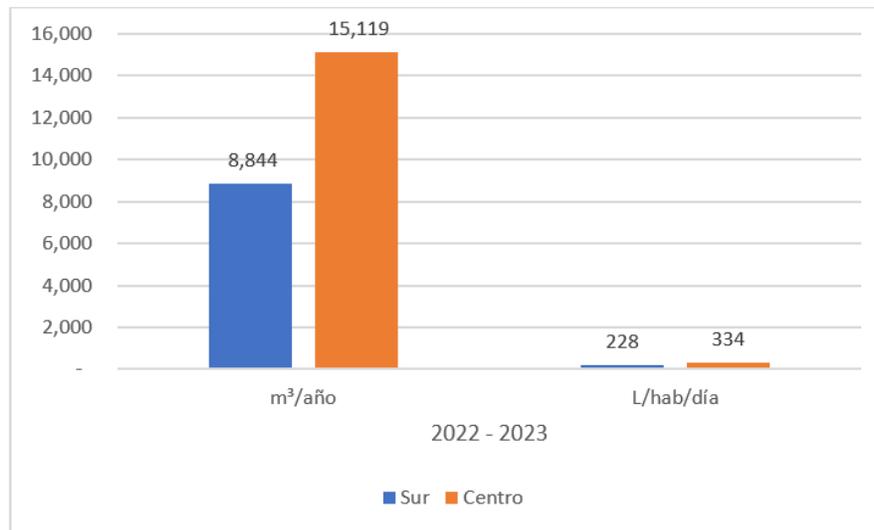


Figura 4.14: Resultados de la HH por habitante.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.15 se presenta la HH de la zona sur y la zona centro en cada una de las actividades que requieren agua en una vivienda. Al analizar el consumo en el uso del baño, se observa que la zona centro tiene el consumo más alto, alcanzando 11,254 m³/año, en comparación con la zona sur que registra un consumo de 7,287 m³/año. En el caso del uso de la cocina, se obtuvieron resultados más altos en la zona centro en comparación con la zona sur, con una diferencia de 4,798 m³/año. Esta disparidad puede atribuirse a la conveniencia de regresar a casa para la comida en la zona centro y a la presencia de una población estudiantil en dicha zona. Los resultados obtenidos del cálculo de la HH en estas zonas tienen diversos propósitos y aplicaciones. Algunas de las principales utilidades son las siguientes:

Gestión del recurso hídrico: Los resultados de la HH permiten identificar el consumo y la disponibilidad de agua en cada zona, lo que facilita una mejor gestión del recurso. Con esta información, se pueden tomar decisiones más informadas sobre el uso del agua y desarrollar estrategias para una administración más sostenible.

Identificación de áreas de mejora: Los resultados revelan un alto consumo de agua en la zona centro, lo que permite identificar oportunidades de mejora y eficiencia en el uso

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

del recurso. Se pueden implementar medidas para reducir la HH y minimizar el impacto ambiental.

Sensibilización y concientización: Los resultados de la HH es una herramienta poderosa para sensibilizar y concientizar a la población sobre la importancia de un uso responsable del agua y la necesidad de cuidar este recurso escaso y vital.

Evaluación de impacto ambiental: Los resultados proporcionan información valiosa sobre el impacto del consumo de agua en el medio ambiente, especialmente en donde el recurso hídrico es limitado.

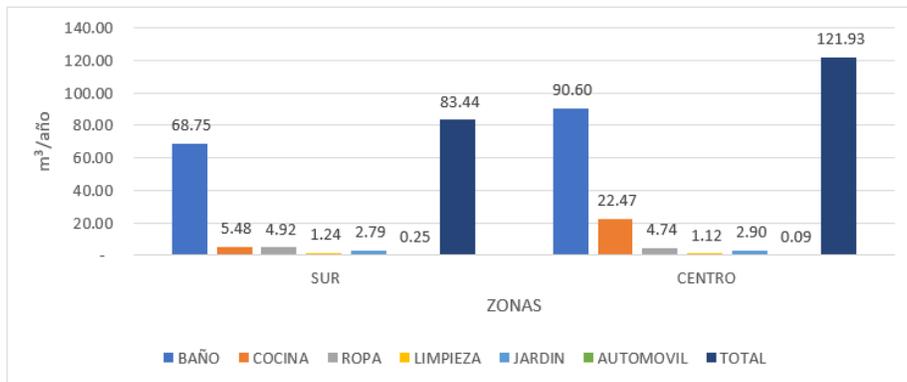


Figura 4.15: Resultados de la HH para uso doméstico.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.16 para el uso del baño en la zona sur y la zona centro, se realizó una comparación entre los dispositivos convencionales y los dispositivos ahorradores, como se muestra en la gráfica. En la zona sur, se encontraron aproximadamente 23 dispositivos convencionales que utilizan volúmenes de agua más altos, mientras que se registraron solo 17 dispositivos ahorradores. En contraste, en la zona centro se encontró un mayor número de dispositivos convencionales, con 35 unidades, aunque no supera la cantidad de dispositivos ahorradores, que alcanzó un valor de 42.

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

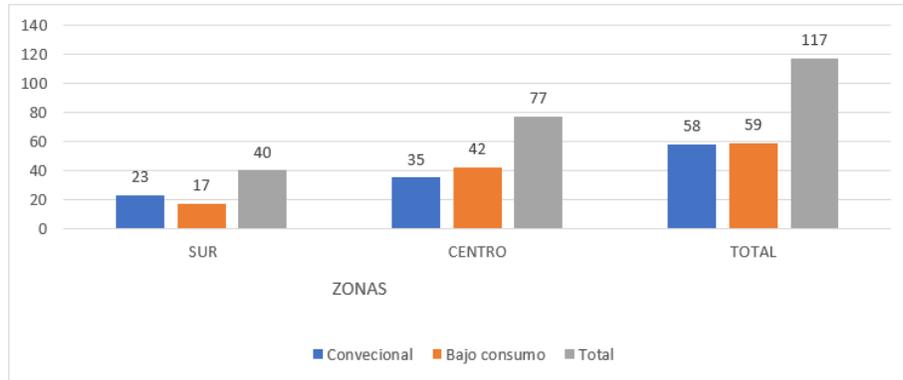


Figura 4.16: Resultados de los dispositivos conveccionales y ahorradores.

Fuente: Elaboración propia.

El consumo del agua en una vivienda suele distribuirse de la siguiente manera:

Aseo personal: aproximadamente el 85 % del consumo total del agua en una vivienda se destina al aseo personal, como ducharse, lavarse las manos, cepillarse los dientes y el uso del WC

Lavado de trastes: alrededor del 7 % del consumo de agua en una vivienda se emplea para el lavado de los utensilios de cocina y los trastes.

Lavado de ropa: alrededor del 4 % del consumo de agua se utiliza para lavar la ropa en lavadoras.

Jardín: aproximadamente el 2 % del consumo de agua en una vivienda se emplea para regar el jardín y mantener el área verde.

Cocción de alimentos y limpieza general: el uso del agua para la cocción de alimentos y las labores de limpieza general en la casa representa alrededor del 1 % del consumo total de agua.

Estas cifras son aproximadas y pueden variar dependiendo de las prácticas y hábitos de consumo de cada hogar. Es importante tener en cuenta estas proporciones para poder identificar áreas donde se puede realizar un uso más eficiente del agua.

Una vez analizados los resultados y comparando el consumo de agua en el uso del

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

baño con equipos ahorradores frente al consumo sin estos equipos, se puede demostrar que utilizar equipos ahorradores representa una ventaja significativa en términos de ahorro de agua.

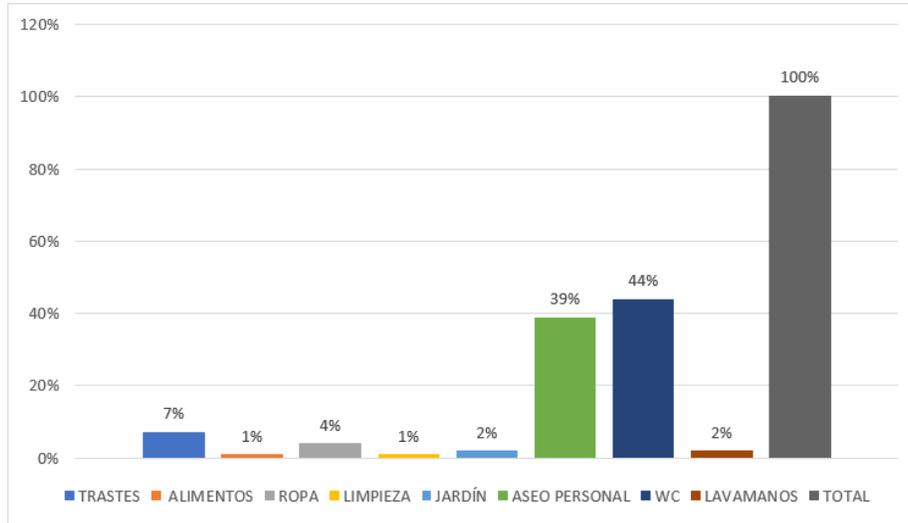


Figura 4.17: Consumo de agua en una vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 4.6, el uso de equipos ahorradores en el baño permite reducir el consumo de agua en un 71 % en comparación con el consumo sin estos equipos. Esto significa que al utilizar dispositivos ahorradores, como inodoros de bajo flujo, grifos de bajo consumo o cabezales de ducha eficientes, se logra un uso más responsable y eficiente del agua en esta área específica.

Este ahorro del 71 % es una muestra clara de cómo pequeñas modificaciones en nuestros hábitos y la implementación de tecnologías más eficientes pueden marcar una gran diferencia en la preservación del agua.

Utilizar equipos ahorradores no solo beneficia a nivel económico, reduciendo los costos de consumo de agua en los hogares, sino que también tiene un impacto positivo en la conservación del recurso hídrico y en la sostenibilidad del medio ambiente.

Promover el uso de equipos ahorradores y la adopción de prácticas de consumo respon-

4.4 Implementar la calculadora de la HH en el sector doméstico de Guanajuato.

sable en el hogar es una acción clave para contribuir a la preservación del agua y garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras.

Función	Convencionales	Ahorradores	Ahorro total	%
Regadera	20 L/min	6 L/min	14 L/min	70
WC	16 LPD	3.8 LPD	12.2 LPD	76
Lavamanos	6 L/min	1.9 L/mn	4.1 L/min	68
Promedio				71

Tabla 4.6: Consumo de agua en el uso del baño.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5

Resultados y discusión

Dependiendo del enfoque del trabajo, la HH puede centrarse en sectores específicos (agricultura, industria, hogares) o en regiones geográficas particulares. Comparar diferentes estudios que se centran en distintos sectores o ubicaciones puede revelar patrones de uso de agua y posibles soluciones más efectivas en diferentes contextos.

La HH no solo tiene en cuenta el uso de agua, sino también los impactos ambientales y sociales relacionados con el consumo y la escasez de agua. Al compararla con otros enfoques, como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), se pueden analizar cómo los diferentes métodos consideran estos impactos de manera holística y cómo se pueden abordar de manera más efectiva.

Es importante tener en cuenta que el cálculo de la HH doméstica se relaciona más directamente con los hábitos y comportamientos individuales, mientras que la HH de un producto industrial está influenciada por decisiones de diseño, procesos de producción y estrategias de gestión empresarial.

Ambos enfoques comparten la importancia de la educación y la conciencia pública sobre el uso responsable del agua. Además, la colaboración entre hogares y empresas puede ser clave para abordar los desafíos del uso sostenible del agua a nivel global. La comparación de estos enfoques ayudan a entender cómo el uso del agua se distribuye a lo largo de la cadena de valor, desde los consumidores individuales hasta los procesos industriales, y cómo se pueden implementar estrategias efectivas de conservación y gestión.

Resultados y discusión

Los OO de Agua Potable están directamente involucrados en la gestión, tratamiento y distribución del agua potable a las comunidades. El cálculo de la HH en este contexto implica evaluar la cantidad de agua utilizada en los procesos de tratamiento y distribución, así como los consumos internos de la organización.

Dado que estos organismos tienen un papel crucial en la provisión de agua potable, su cálculo podría estar enfocado en la mejora de la eficiencia operativa y la adopción de prácticas de conservación del agua. La cantidad y calidad del agua suministrada por estos organismos afecta directamente a la salud y el bienestar de la comunidad. Por lo tanto, la gestión sostenible del recurso hídrico es esencial en este contexto.

Comparación con otros sectores:

Sector Agrícola: Comparar la HH en los OO con la agricultura es relevante ya que la agricultura suele ser uno de los mayores consumidores de agua. La comparación podría mostrar cómo se distribuye el uso del agua entre estos sectores y cómo podrían colaborar para un uso más eficiente.

Sector Industrial: En comparación con el sector industrial, la gestión del agua en los OO puede ser más centrada en garantizar el acceso al agua potable para la comunidad. Sin embargo, los dos sectores podrían aprender estrategias de gestión eficiente y reciclaje del agua de manera mutua.

Productos de Consumo: Comparar la HH de los OO con la de productos de consumo podría revelar la cantidad de agua utilizada en la cadena de suministro y producción de bienes y cómo esto impacta en el uso total del agua.

Estas comparaciones pueden inspirar estrategias de conservación, colaboración y eficiencia en la gestión del agua, que son fundamentales para abordar los desafíos actuales y futuros relacionados con la disponibilidad y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Por otra parte, este proyecto ha considerado importante que la HH de una cuenca implica la interacción de diferentes actores y sectores que comparten los recursos hídricos. Se deben tener en cuenta las necesidades de agua de los cultivos, la industria, los hogares, la vida silvestre y otros usos. Es fundamental evaluar y gestionar la HH de manera sostenible para garantizar que haya suficiente agua disponible para todos los usos presentes y futuros, así como para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la cuenca.

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

Al realizar este estudio se encontraron ciertas limitaciones prácticas con respecto a la obtención y calidad de los datos, y a su vez, algunas referidas a la aplicación de la metodología.

Dentro de las limitaciones prácticas, se encuentran los problemas relacionados con la obtención de los datos y la propia variabilidad de éstos, lo que hace muy difíciles precisar los resultados. Existe una falta de información y registros a nivel general en los OO respecto al consumo y uso del agua. Esta falta de datos puede dificultar la estimación precisa de la HH y limitar la comprensión del impacto real del uso del agua en diversas actividades y procesos. La disponibilidad de información confiable y actualizada es crucial para llevar a cabo análisis precisos y tomar decisiones informadas en la gestión sostenible del recurso hídrico. Para abordar esta situación, es necesario promover y fomentar la recopilación sistemática de datos y registros relacionados con el consumo y la gestión del agua en los OO, lo que permitirá una mejor evaluación y monitoreo de la HH y contribuirá a una administración más eficiente y responsable de este recurso vital.

Dentro de las limitaciones metodológicas, se encuentra el fundamento del por qué al calcular la HH en una vivienda, se obtiene un valor mayor al que rige la norma de la dotación mensual del OO en el municipio de Guanajuato. Esto puede atribuirse a varios factores, como la inclusión de agua indirecta en el cálculo, que considera el agua utilizada para producir los insumos utilizados en la vivienda. Además, la HH también puede reflejar

Conclusiones y recomendaciones

el uso no eficiente del recurso dentro de la vivienda. Es importante tener en cuenta que la HH es una herramienta analítica que evalúa el consumo total de agua en todas las etapas de la cadena de suministro, y no se limita únicamente a la dotación mensual establecida por el OO. Esta diferencia entre la HH y la dotación mensual puede ser útil para identificar áreas donde se puede mejorar la eficiencia del uso del agua en la vivienda y adoptar prácticas más sostenibles en su gestión.

Por otra parte, se pudo demostrar que la metodología aplicada al cálculo de la HH para los 46 municipios del Estado de Guanajuato puede considerarse como un indicador de la gestión del recurso hídrico en los OO. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos para cada caso, se concluyó que no es aplicable de manera generalizada para todos los municipios.

Los resultados mostraron que la eficiencia y las características de los sistemas de abastecimiento varían considerablemente entre los municipios, lo que influye directamente en la HH. Algunos municipios presentaron un alto grado de pérdidas de agua y una baja eficiencia en el uso del recurso, lo que resultó en una HH más elevada. En contraste, otros municipios mostraron una gestión más eficiente y un menor impacto en la HH.

Por lo tanto, se concluyó que la metodología debe ser adaptada y ajustada a las particularidades de cada municipio, tomando en cuenta sus condiciones específicas y características propias del sistema de abastecimiento de agua. Esto permitirá obtener una evaluación más precisa y relevante de la HH y una mejor identificación de áreas de mejora en la gestión del recurso hídrico en cada caso particular. Es importante considerar estas limitaciones y ajustar la metodología en futuras evaluaciones para obtener resultados más representativos y aplicables a nivel local.

El estudio de la HH consta de dos métodos: macromedición y micromedición. En este trabajo, se aplicaron ambos métodos y se desarrolló una calculadora para el uso doméstico como una herramienta útil, sencilla y aplicable para el usuario, y para facilitar futuros trabajos en el mismo campo.

La macromedición se utilizó para medir el consumo de agua a gran escala en los OO y en los municipios del Estado de Guanajuato. Este método permitió obtener una visión general de la HH a nivel macro y proporcionó datos útiles para la evaluación del sistema de abastecimiento de agua.

Conclusiones y recomendaciones

Por otro lado, la micromedición se empleó para medir el consumo de agua a nivel de usuario en las viviendas. Este enfoque permitió obtener datos más detallados y precisos sobre el consumo de agua en el ámbito doméstico. A partir de estos datos, se desarrolló una calculadora que brinda información útil y práctica para los usuarios en cuanto a su HH personal.

La calculadora para uso doméstico resulta ser una herramienta valiosa para promover la conciencia sobre el uso responsable del agua en el hogar y fomentar prácticas sostenibles entre los usuarios. Además, facilita la realización de futuros trabajos relacionados con la evaluación de la HH en el ámbito doméstico y permite comparar y analizar el impacto del consumo de agua en diferentes regiones y contextos.

La combinación de los métodos de macromedición y micromedición, junto con el desarrollo de la calculadora para uso doméstico, ha enriquecido este estudio y brinda herramientas prácticas y aplicables para la gestión sostenible del recurso hídrico.

En la Figura 6.1, se presenta una línea de tiempo que abarca desde 2015 hasta 2023. Es fundamental destacar que los resultados correspondientes al período de 2015 a 2021 se derivaron de la metodología de cálculo de la HH, tal como se describe en el Capítulo 4.1. Por otro lado, los resultados correspondientes a los años 2022 y 2023 provienen de la calculadora diseñada específicamente para el municipio de Guanajuato.

Es evidente en la figura un incremento en la HH per cápita durante los últimos dos años. Se llegó a la conclusión de que este aumento, según los resultados arrojados por la calculadora, podría deberse a las razones expuestas en el apartado 4.4 (página 88). No obstante, es importante señalar que el consumo personal de agua por parte de cada mexicano oscila entre 150 y 350 L/hab/día (Cervantes-Carretero, 2021), lo que refleja que los resultados obtenidos a través de la calculadora captan en cierta medida la realidad actual.

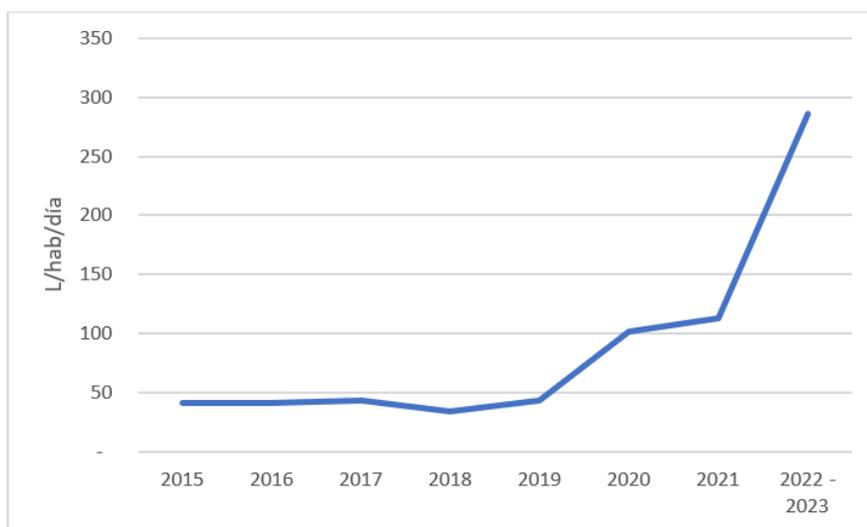


Figura 6.1: Resultados de la HH pér capita.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos de la HH del OO varían entre 2,161,923 Y 5,385,422 m³/año, dependiendo del periodo realizado. De este valor, la HH per cápita corresponde a cerca de un 40 y 80 L/día. Se observó una tendencia al disminuir el valor del % RAR en los años 2020 y 2021. Esto puede justificarse dado que gran parte del agua en ese periodo no se reincorporó al sistema de abastecimiento, lo que puede ser clasificada como “agua no contabilizada”. Esto puede ocurrir debido a diversas razones, como fugas en las redes de distribución, conexiones clandestinas o ilegales, errores en la medición y facturación, pérdidas comerciales, entre otros.

Según la hipótesis planteada, la evaluación de la HH en los OO es una herramienta valiosa que proporciona una visión clara de cómo las actividades relacionadas con el uso del agua afectan tanto a la disponibilidad como a la calidad del recurso hídrico. Al calcular la HH, es posible obtener información detallada sobre la cantidad total de agua utilizada directa e indirectamente en todas las etapas de la cadena de suministro.

En el apartado 2.2.1, que aborda las utilidades de la HH para los OO, se ha demostrado la importancia que esta métrica tiene. Con ella, es posible comprender el consumo de agua

Conclusiones y recomendaciones

de una empresa y los sectores que contribuyen significativamente a la demanda hídrica, lo que mejora la comunicación entre las partes interesadas y optimiza los informes de desempeño ambiental. Además, la HH permite priorizar el enfoque hacia el Desarrollo Sostenible de la comunidad. Al entender cómo las actividades se relacionan con la escasez y contaminación del agua, los OO pueden tomar decisiones más informadas para implementar prácticas sostenibles y optimizar la gestión del recurso hídrico. Esto incluye medidas para reducir las pérdidas de agua, promover un uso más eficiente del recurso, implementar tecnologías más limpias y mejorar la calidad del agua tratada.

En resumen, la evaluación de la HH es una herramienta poderosa para fomentar la sostenibilidad y la conservación del agua. Alienta a los OO a tomar acciones concretas para proteger este recurso vital y garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras. Se recomienda continuar con los esfuerzos de promover metodologías para el registro de datos por parte de los OO de manera metódica. Es importante instruir a los trabajadores sobre las nociones y el método de cálculo de la HH, para que puedan comprender su relevancia y participar activamente en el análisis de los resultados.

De esta manera, se podrán estudiar otros escenarios relacionados con la HH, permitiendo una evaluación más exhaustiva y precisa del uso del agua en diferentes actividades y sectores. Asimismo, contar con datos confiables y consistentes facilitará la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia en el uso del recurso hídrico y promover prácticas más sostenibles en los OO.

La promoción de la cultura de registro y análisis de la HH dentro de los OO será clave para seguir avanzando en la gestión sostenible del agua, contribuyendo así a la preservación de este recurso vital para las presentes y futuras generaciones.

Es importante mencionar que la metodología aplicada es fácilmente aplicable para cualquier OO que desee calcular su HH. Sin embargo, aunque la aplicación de este tipo de metodología es relativamente sencilla, se necesita realizar muchos cálculos y hay que tener en cuenta que una de las principales limitaciones que se presentaron a lo largo de este trabajo de investigación, y que se deben considerar para su aplicación en otros casos, es la falta de información expedida para el mantenimiento de las bases de datos y cálculos de este indicador. Por tanto, es importante llevar un registro ordenado de toda la información requerida.

Conclusiones y recomendaciones

En conclusión, el indicador de la HH se ha demostrado efectivo en el enfoque del estudio del consumo de agua. No obstante, esta herramienta debe continuar perfeccionándose con el avance de la investigación en materia de consumo de agua. A medida que se realicen más estudios y se cuantifiquen los usos de agua con mayor precisión, se podrá tomar decisiones más objetivas sobre el uso eficiente del recurso hídrico.

Es esencial seguir trabajando en la mejora y desarrollo de metodologías para medir la HH con mayor exactitud y abarcando diferentes sectores. Al lograr mediciones más precisas, se podrá crear conciencia sobre la importancia de este preciado recurso en nuestro planeta y fomentar prácticas sostenibles que contribuyan a su preservación.

La HH es una herramienta valiosa para entender y gestionar el uso del agua de manera responsable y sostenible. Su continua evolución y aplicación en diferentes contextos nos permitirán avanzar hacia un uso más eficiente y consciente del agua.

Referencias

- AgroDer (2012). Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. *México. Obtenido de WWF México y AgroDer. México DF.*
- Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., and Mekonnen, M. M. (2012). *The Water Footprint Assessment Manual*. Routledge, 0 edition.
- Alvarado, R. A. A. (2023). Aplicación de la metodología water footprint network para el cálculo de huella hídrica en el año 2021 en las instalaciones de una cervecería artesanal.
- Amórtegui, Luis, G.-D. . G.-H. (2017). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos.<https://doi.org/10.35830/cn.vi69.342>.
- Arroyo, Ismael, Cervantes, and gemma (2018). Huella hídrica de un producto industrial: una metodología adaptada - Water footprint of an industrial product: An adapted methodology. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(6):70–90. Number: 6.
- Arévalo, D. (2017). Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica.
- Broussain-Kyling, J. (2011). Análisis y aplicación de una metodología para el cálculo de la huella hídrica a nivel predial de la producción lechera en Chile. Accepted: 2012-09-12T18:18:20Z Publisher: Universidad de Chile.
- Cervantes-Carretero, E. A. (2021). Cálculo de huella hídrica en los sectores público-urbano y agrícola.

REFERENCIAS

- Chai, Li y Han, Z., Liang, Y., Su, Y., and Huang, G. (2020). Understanding the blue water footprint of households in China from a perspective of consumption expenditure. *Journal of Cleaner Production*, 262:121321.
- Chini, C. M., Konar, M., and Stillwell, A. S. (2017). Direct and indirect urban water footprints of the United States. *Water Resources Research*, 53(1):316–327. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2016WR019473>.
- CONAGUA (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.
- DENUE (2013). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Quinta versión (DENUE interactivo 10/2013).
- Douro, Axel, J.-A. . G.-H. (2022). Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 48 del programa 21 .
- Gutiérrez-Mercadillo, M. T. (2017). Guía para Organismos Operadores. Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento.
- GWI (2021). Eficiencia Energética para empresas de servicios públicos.
- HOEKSTRA, Gerbens-leenes, . M. (2009). Reply to pfischer and hellweg: Wfp accounting, impact assessmenr, and life cycle assessment. pnas. 6 octubre 2009b.
- IAGUA (2022). La crisis del agua en México provoca que 12 millones de personas no tengan acceso a agua potable.
- INEGI (2022). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Iracheta, A. (2022). Planes Región 2035 del Estado de Guanajuato. Región I Noreste.
- Ivanova, Yulia, Sarmiento, and Armando, L. (2020). *Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana*. PhD thesis, Pontificia Universidad Javeriana.

REFERENCIAS

- Ivanova, D., Stadler, K., Steen-Olsen, K., Wood, R., Vita, G., Tukker, A., and Hertwich, E. (2015). Environmental impact assessment of household consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 20.
- Pedrozo-Acuña, A. (2020). La sustentabilidad hídrica y el conocimiento del ciclo del agua. *Perspectivas IMTA*, 1.
- Ramirez, A., Uribe, R., Morales, R., Lambarri, J., Collins, P. P., and A, R. V. d. M. (2017). Huella hídrica en México: análisis y perspectivas.
- SEP (2022). Sistema Educativo de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Educación Pública. Principales cifras, ciclo escolar.
- Sánchez, C. (2022). Macromedición en Sistemas de Distribución de Agua.docx.
- UNESCO (2009). Programa Mundial de los Recursos Hídricos (wwap).
- Vargas, L. (2020). Capítulo 3 Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento. page 47.
- Yerli, C., and Sahin, U. (2022). An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey). *Brazilian Journal of Biology*, 82:e249745.
- Zárate, Torres, Fernández, and Poulussen, Érika, A. (2017). Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica.

Anexo A

Producción anual de las fuentes
superficiales y subterráneas de
SIMAPAG.

Producción anual de las fuentes superficiales y subterráneas de SIMAPAG.

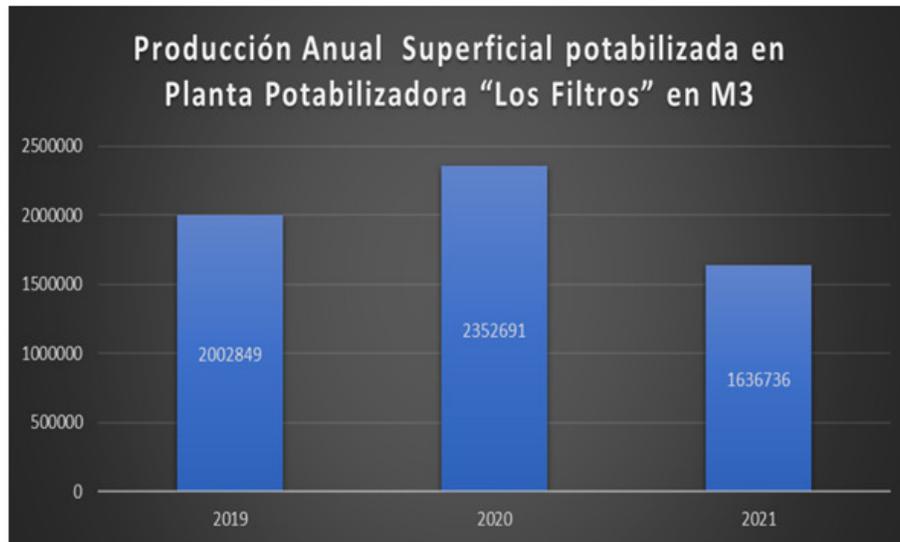


Figura A.1: Planta potabilizadora (los filtros).

Fuente: SIMAPAG, 2022.

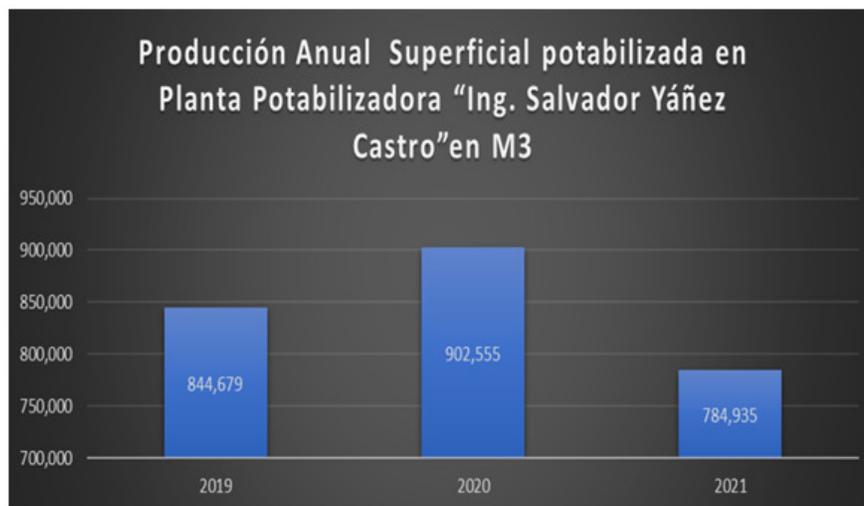


Figura A.2: Planta potabilizadora (Ing. Salvador yáñez Castro).

Fuente: SIMAPAG, 2022.

Producción anual de las fuentes superficiales y subterráneas de SIMAPAG.

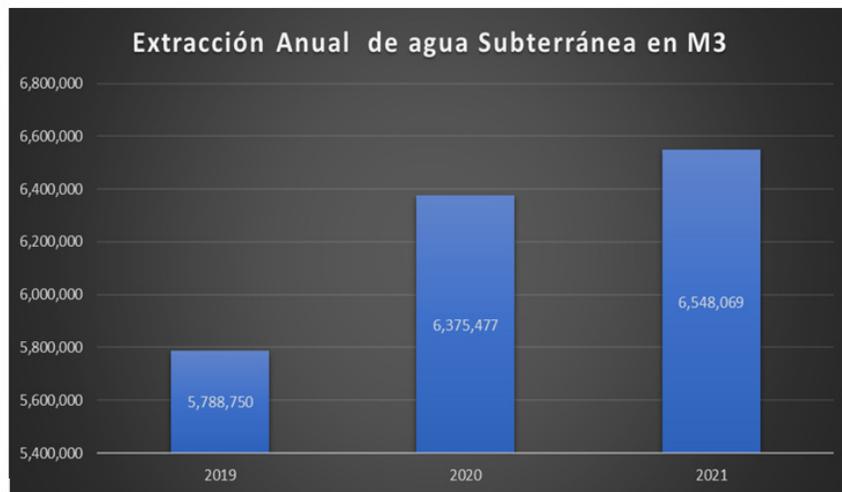


Figura A.3: Producción anual de pozos.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

Anexo B

Volúmenes de agua residual tratada en SIMAPAG.

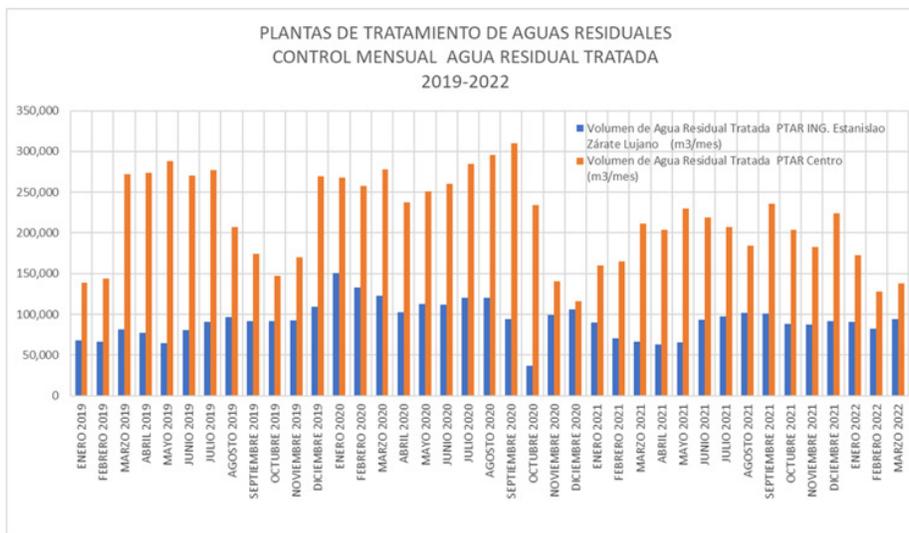


Figura B.1: Planta de tratamiento de agua residual tratada.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

Volúmenes de agua residual tratada en SIMAPAG.

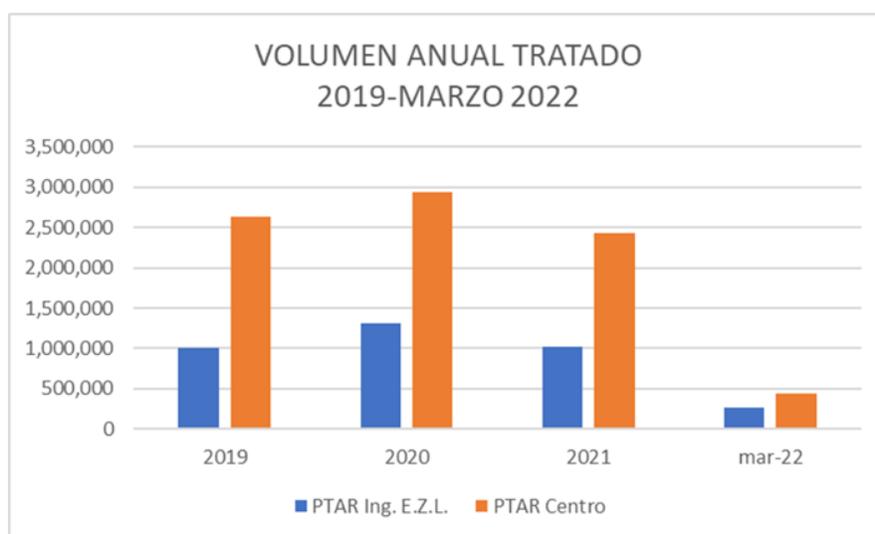


Figura B.2: Volumen de agua residual tratado.

Fuente: SIMAPAG, 2022.

Anexo C

Resultados del cálculo de la HH
por los cinco métodos.

Resultados del cálculo de la HH por los cinco métodos.

DATOS TÉCNICOS 2018				
Municipios	$\sum_{i=1}^j VEM_i$ (m ³ /año)	$\sum_{i=1}^j VSM_m$ (m ³ /año)	HH (m ³ /año)	HH (m ³ /hab/año)
Acámbaro	5,646,640	4,234,980	1,411,660	20
Allende	9,878,868	7,409,151	2,469,717	20
Apaseo el Alto	2,427,591	2,820,693	606,898	13
Apaseo el Grande	2,925,010	2,193,758	731,252	11
Manuel Doblado	1,476,535	1,142,581	333,954	15
Coroneo	554,193	387,935	166,258	30
Cortázar	3,767,348	3,255,737	511,611	6
Dolores Hidalgo	4,613,056	3,690,445	922,611	9
Guanajuato	9,337,473	7,368,650	1,968,823	12
Jaral del Progreso	1,459,330	1,167,464	291,866	7
Moroleón	4,744,625	3,558,468	1,186,157	19
Ocampo	1,273,584	955,188	318,396	14
Pénjamo	4,677,322	3,507,992	1,169,330	20
Purísima del Rincón	5,216,071	4,240,714	975,357	12
Romita	1,653,943	1,240,457	413,486	14
Salamanca	15,513,866	11,635,400	3,878,466	20
San Diego de la Unión	920,888	690,666	230,222	10
San Felipe	2,689,099	1,730,376	958,723	19
San Francisco del Rincón	6,899,356	5,174,517	1,724,839	15
San José Iturbide	3,231,285	2,358,838	872,447	16
San Luis de la Paz	4,535,084	3,543,097	991,987	16
Juventino Rosas	3,795,706	2,846,780	948,926	16
Silao	6,103,568	4,604,479	1,499,089	14
Valle de Santiago	3,866,601	2,897,847	968,754	11

Tabla C.1: Macromedición en la entrada y en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del cálculo de la HH por los cinco métodos.

DATOS TÉCNICOS 2018					
Municipios	$\sum_{k=1}^j \frac{Dot_k}{1000}$ (L/hab/día)	PS _k (hab)	VEE _i (m ³ /año)	$\sum_{i=1}^j VSM_m$ (m ³ /año)	HH (m ³ /año)
Acámbaro	222	69,662	5,644,712	4,234,980	1,409,732
Allende	214	126,294	9,864,824	7,409,151	2,455,673
Apaseo el Alto	139	47,749	2,422,546	1,820,693	601,853
Apaseo el Grande	117	68,312	2,917,264	2,193,758	723,506
Manuel Doblado	179	22,550	1,473,304	1,142,581	330,723
Coroneo	271	5,603	554,221	387,935	166,286
Cortázar	122	84,816	3,776,856	3,255,737	521,119
Dolores Hidalgo	122	103,237	4,597,144	3,690,445	906,699
Guanajuato	161	158,978	9,342,342	7,368,650	1,973,692
Jaral del Progreso	102	39,073	1,454,688	1,167,464	287,224
Moroleón	207	62,670	4,735,032	3,558,468	1,176,564
Ocampo	149	23,437	1,274,621	955,188	319,433
Pénjamo	221	58,044	4,682,119	3,507,992	1,174,127
Purísima del Rincón	174	82,317	5,227,953	4,240,714	987,239
Romita	149	30,420	1,654,392	1,240,457	413,935
Salamanca	214	198,856	15,532,642	11,635,400	3,897,242
San Diego de la Unión	114	22,196	923,576	690,666	232,910
San Felipe	148	49,868	2,693,869	1,730,376	963,493
San Francisco del Rincón	160	118,166	6,900,894	5,174,517	1,726,377
San José Iturbide	162	54,575	3,227,020	2,358,838	868,182
San Luis de la Paz	194	63,953	4,528,512	3,543,097	985,415
Juventino Rosas	176	58,984	3,789,132	2,846,780	942,352
Silao	154	108,819	6,116,716	4,604,479	1,512,237
Valle de Santiago	125	84,819	3,877,349	2,897,847	979,502

Tabla C.2: Estimación del volumen de entrada y macromedición en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del cálculo de la HH por los cinco métodos.

DATOS TÉCNICOS 2018					
Municipios	RAR (%)	n (%)	$\sum_{i=1}^j VEM_i$ (m ³ /año)	VSE _m (m ³ /año)	HH (m ³ /año)
Acámbaro	0.75	0.98	5,646,640	4,150,280	1,496,360
Allende	0.75	0.97	9,878,868	7,186,876	2,691,992
Apaseo el Alto	0.75	0.97	2,427,591	1,766,072	661,519
Apaseo el Grande	0.75	0.97	2,925,010	2,127,945	797,065
Manuel Doblado	0.75	0.97	1,476,535	1,074,179	402,356
Coroneo	0.75	0.97	554,193	499,938	54,255
Cortázar	0.75	0.97	3,767,348	2,740,746	1,026,602
Dolores Hidalgo	0.75	0.93	4,613,056	3,217,607	1,395,449
Guanajuato	0.75	0.98	9,337,473	6,863,043	2,474,430
Jaral del Progreso	0.75	0.97	1,459,330	1,061,663	397,667
Moroleón	0.75	0.99	4,744,625	3,522,884	1,221,741
Ocampo	0.75	0.95	1,273,584	907,429	366,155
Pénjamo	0.75	0.96	4,677,322	3,367,672	1,309,650
Purísima del Rincón	0.75	0.98	5,216,071	3,833,812	1,382,259
Romita	0.75	0.98	1,653,943	1,215,648	438,295
Salamanca	0.75	0.99	15,513,866	11,519,046	3,994,820
San Diego de la Unión	0.75	0.96	920,888	663,039	257,849
San Felipe	0.75	0.97	2,689,099	1,956,320	732,779
San Francisco del Rincón	0.75	0.99	6,899,356	5,122,772	1,776,584
San José Iturbide	0.75	0.99	3,231,285	2,399,229	832,056
San Luis de la Paz	0.75	0.98	4,535,084	3,333,287	1,201,797
Juventino Rosas	0.75	0.99	3,795,706	2,818,312	977,394
Silao	0.75	0.98	6,103,568	4,486,122	1,617,446
Valle de Santiago	0.75	0.86	3,866,601	2,493,958	1,372,643

Tabla C.3: Macromedición en la entrada y estimación en la descarga.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del cálculo de la HH por los cinco métodos.

DATOS TÉCNICOS 2018				
Municipios	\sum_{VM} (m ³ /año)	E_f (%)	$\sum_{m=1}^n VSM_m$ (m ³ /año)	HH (m ³ /año)
Apaseo el Alto	1,487,844	0.61	1,820,693	618,396
Manuel Doblado	838,122	0.57	1,142,581	327,808
Cortázar	2,471,697	0.66	3,255,737	489,258
Guanajuato	6,304,968	0.68	7,368,650	1,903,362
Jaral del Progreso	1,020,869	0.70	1,167,464	290,920
Ocampo	700,019	0.55	955,188	317,574
Romita	866,455	0.52	1,240,457	425,803
San Francisco del Rincón	4,654,653	0.67	5,174,517	1,772,726

Tabla C.4: Micromedición cuando se miden las descargas.

Fuente: Elaboración propia.

DATOS TÉCNICOS 2018				
Municipios	\sum_{VM} (m ³ /año)	E_f (%)	$\sum_{m=1}^n VSE_m$ (m ³ /año)	HH m ³ /año)
Apaseo el Alto	1,487,844	0.61	2,025,096	413,992
Manuel Doblado	838,122	0.57	1,174,436	295,953
Cortázar	2,471,697	0.66	3,544,698	200,298
Guanajuato	6,304,968	0.68	7,320,579	1,951,433
Jaral del Progreso	1,020,869	0.70	1,160,751	297,633
Ocampo	700,019	0.52	967,924	304,838
Romita	866,455	0.52	1,556,030	110,230
San Francisco del Rincón	4,654,653	0.67	6,283,933	663,310

Tabla C.5: Micromedición cuando no se miden las descargas.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D

Distribución anual del agua.

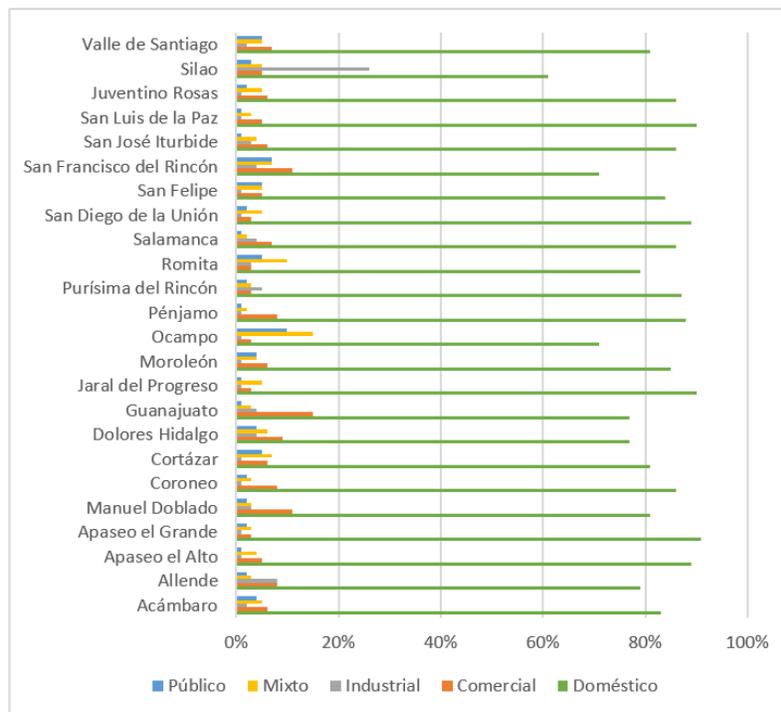


Figura D.1: Datos de la distribución del agua en los OO.

Fuente: Elaboración propia.