



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Matriz de decisión para la selección
de un sitio destinado a una planta
de tratamiento de agua residual**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Civil

P R E S E N T A

Norma Paola Ángeles Peralta

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Antonio García Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Contenido

I. Justificación, objetivos y marco de referencia	5
1.1. Justificación y análisis sobre la necesidad de instalar una Planta de Tratamiento de Agua Residual	5
1.2. Objetivo general.....	7
1.3. Objetivos específicos	7
1.4. Marco de referencia.....	7
1.4.1. La situación del agua en México	7
1.4.2. Tratamiento del agua residual en México	9
II. Marco teórico y contexto de aplicación de la matriz de decisión	12
2.1. Fundamentación teórica	12
2.1.1. Matriz de decisión como herramienta de evaluación.....	12
2.2. Aplicaciones del análisis de decisiones en el contexto de la PTAR	15
2.2.1. Aspectos sociales, indicadores a considerar	15
2.2.2. Aspectos geográficos ambientales y contexto hídrico	20
2.2.3. Suelo y accesibilidad al sitio	25
2.2.4. Aspectos económicos y servicios preexistentes	28
III. Aplicación de la matriz de decisión para seleccionar un sitio favorable donde disponer una PTAR.....	37
3.1. Aplicación de la Matriz Pugh.....	37
3.1.1. Selección de los sitios conforme su potencial de reúso	39
3.1.2. Resultados de los sitios a evaluar	50
3.2. Ponderación de los criterios considerados en la matriz de decisión	51
3.2.1. Demografía y aspectos sociales.....	51
3.2.2. Aspectos geográficos, ambientales y contexto hídrico	60
3.2.3. Suelo y accesibilidad al sitio	71
3.2.4. Aspectos económicos y servicios preexistentes	76
3.3. Resultados de la aplicación	98
IV. Conclusiones.....	107
Glosario.....	108
Referencias Bibliohemerográficas	111
Bibliohemerografía	119

Introducción

El agua es un recurso de gran valor estratégico para la sociedad en la medida que constituye un derecho humano y una fuente necesaria para distintas actividades productivas en diversas regiones del país. En este contexto, las plantas de tratamiento de agua residual, conocidas como (PTAR) adquieren una relevancia particular, toda vez que su construcción pueda contribuir con el uso racional y sustentable de este vital líquido.

Algunos análisis coinciden en que México enfrenta serios desafíos relacionados con el agua, en especial se reconoce que se trata del segundo país con mayor estrés hídrico de Latinoamérica que, a su vez, agrava la sequía que padecen distintas regiones. De esta manera, mientras la demanda del recurso aumenta, el saneamiento de agua residual se reconoce como uno de los mayores problemas asociados a la escasez de este vital líquido tan solo, de acuerdo con CONAGUA en su libro “Estadísticas del Agua en México 2021”, únicamente el 49.1% del agua residual recibe un tratamiento adecuado.

Frente a este complejo fenómeno, el enfoque de sistemas aporta metodologías y herramientas de gran utilidad para la toma de decisiones y la planeación de proyectos de ingeniería, desde esta perspectiva se adoptó la matriz de Pugh, también conocida como Método Pugh o matriz de selección de Pugh, para evaluar y comparar distintos indicadores tendientes a definir la mejor ubicación de una PTAR en distintas zonas del país, toda vez que ha sido un instrumento ampliamente usado en ingeniería, diseño industrial y gestión de proyectos. Para fines del trabajo, la adopción de la matriz aporta un enfoque estructurado y sistemático que reduce sesgos y subjetividades al momento de evaluar entre distintas opciones.

En consideración a la relevancia de este tema se propone el desarrollo de una matriz de evaluación que considere criterios técnicos, ambientales y sociales, con el fin de seleccionar el sitio más adecuado para la construcción de una planta de tratamiento de agua residual, en función de su idoneidad para albergar la planta de tratamiento de agua residual en emplazamientos potenciales.

En cuanto a su contenido, el trabajo consta de tres capítulos en los que se aborda la situación del agua en México, la definición del marco teórico y metodológico relativos a la matriz de Pugh, la definición de los indicadores, así como la ponderación de los resultados de la aplicación de la herramienta orientada a sistematizar la toma de decisiones.

De esta manera, en el primer capítulo se aborda la situación actual del agua en México caracterizada por una crisis que compromete la disponibilidad del recurso para el consumo poblacional y el uso en los sectores agrícola e industrial, al mismo

tiempo que se reconoce el potencial de las plantas de tratamiento de agua residual para proveer de agua limpia a la sociedad tras mitigar los contaminantes. Al final del apartado se identifican los principales desafíos que tienen que ver, entre otros aspectos, con regulaciones laxas, contaminación, incumplimiento de la normatividad y modernización de la infraestructura que es preciso tomar en cuenta en un proyecto de ingeniería.

En el segundo se explica la necesidad de adoptar un enfoque técnico que conduzca a la toma de decisiones objetivas respecto a la construcción de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), mediante un modelo, de tres etapas, orientado a la identificación de la región de estudio, la evaluación técnica de las plantas existentes y la cuantificación del potencial de reúso de agua tratada. En este caso, la matriz de Pugh es un instrumento dirigido a sistematizar el análisis de los aspectos demográficos, sociales, geográficos, ambientales y de suelo, cuyas características y funcionamiento se explican en relación con los objetivos del trabajo. Por su parte, el tercer capítulo se describe la aplicación de la matriz de Pugh en la selección de un sitio destinado a la construcción de una PTAR, cuyo análisis considera 15 columnas y 43 filas que tienen la función de registrar la ponderación de los criterios de decisión a partir de criterios demográficos, sociales, geográficos, ambientales y de suelo. Además del detalle de cada aspecto abordado se analiza el resultado general del instrumento de sistematización.

La realización del análisis conforme a los indicadores permite concluir que la matriz Pugh es una herramienta de valor estratégico que favorece la evaluación objetiva y estructurada con enfoque multicriterio que aporta una decisión con respaldo y legitimidad viable para proyectos de sostenibilidad ambiental, al tiempo que permite sistematizar el manejo de criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales y tecnológicos como el potencial de procesos microalgales que mejoran la eficiencia en el tratamiento del agua residual y ayudan a fomentar la economía circular.

A través del análisis se identificó que el municipio de Chihuahua es el lugar óptimo para el emplazamiento de una PTAR, cuya elección respalda la conservación de recursos hídricos y enfatiza el tema de reúso de agua tratada a partir de la reducción de la demanda de agua potable que se traduce en ventajas económicas y ambientales.

La quinta parte y final incluye un glosario anexo que favorece una mejor comprensión de los conceptos empleados para el desarrollo del presente trabajo, puesto que la abundancia de términos puede limitar la comprensión de los lectores.

De manera complementaria, es pertinente agregar además del soporte que ofrece la matriz de Pugh para la identificación de una solución óptima en un proyecto de ingeniería, la posibilidad de propiciar mayor aceptación y compromiso en la toma de decisiones, toda vez que incluye la participación de los decisores o grupo de interés del proceso y da pie a compartir los resultados de manera razonada.

I. Justificación, objetivos y marco de referencia

1.1. Justificación y análisis sobre la necesidad de instalar una Planta de Tratamiento de Agua Residual

En la actualidad México enfrenta serios desafíos relacionados con la gestión del agua. La gravedad de la problemática hídrica se ilustra por el reconocimiento del país como el segundo con mayor estrés hídrico en Latinoamérica por parte de organismos internacionales durante la Semana Mundial del Agua de 2023, sin contar que la demanda creciente del vital líquido se estima que será de 23,000 m³ para 2030, de acuerdo con proyecciones del Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO, 2023). En este mismo marco, Cervantes Carrillo, F. (2023), investigador del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), especialista en Innovaciones tecnológicas aplicadas al tratamiento del agua residual, identifica la sequía y el saneamiento del agua residual como los dos problemas que mayormente contribuyen a la escasez de los recursos hídricos en el México (UNAM, 2024).

De acuerdo con lo anterior, las sequías, en los últimos años el país ha enfrentado estiajes prolongados que han reducido drásticamente la disponibilidad *per cápita* del agua en diversas regiones, al tiempo que solo el 50% del agua residual recibe tratamiento adecuado de acuerdo con un informe de la ONU de 2023, situación que deriva en descargas contaminantes en ríos y costas (IMCO, 2023).

En particular, el saneamiento del agua residual municipal en México manifiesta un rezago en su infraestructura, ya que no ha recibido la atención debida por parte de las autoridades competentes (Noyola, et. al., 2013). De este modo, la limitada inversión e inacción han exacerbado la problemática de escasez de agua y contaminación en México, al grado que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) estima la necesidad de invertir alrededor de 430,000 millones de pesos anuales durante 10 años para abatir el rezago en infraestructura (Badillo, 2023).

En lo que corresponde a capacidad instalada, de acuerdo con Hugo Rojas Silva, consultor en economía del agua, entrevistado por Diego Badillo de *El ita*, con la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021, alrededor del 30% de las plantas de tratamiento de agua residual en operación no estarían en condiciones de cumplir con los límites permisibles que esta norma estipula, por lo que será necesaria una

mayor inversión (Badillo, 2023). En similar sentido, La Confederación de Cámaras Industriales (Concamin) alertó que, con el ajuste de los parámetros en la NOM, casi todas las plantas de tratamiento existentes deberán modificar o, en su defecto, construir nuevas plantas para operar conforme a la normativa vigente (Haro, 2021).

En lo que corresponde al uso de los recursos hídricos, de acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2023, la industria utilizó el 14% del agua, cuyo principal problema tiene que ver con las descargas del agua residual no tratada (Club IAGUA, 2023), hecho que, ante la crisis hídrica que se vive en el país, pone el acento en el tratamiento de agua y específicamente en la modernización de la infraestructura existente y el reúso del agua tratada para la agricultura, el uso habitacional, municipal e industrial que suscriben entidades como el IMCO (Club IAGUA, 2023).

Frente a lo planteado, es importante subrayar que la principal meta de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) tendrá que centrarse en la diversificación en la aplicación del agua tratada a efecto de reducir la demanda de agua potable (Morgan et. al., 2023), además, por supuesto, de cumplir con los parámetros de descarga que marca la norma. Complementariamente, es importante revertir el desperdicio de efluentes adecuadamente tratados que retornan al drenaje por deficiencias en la infraestructura y logística (Morgan et. al., 2023).

Frente al escenario planteado, la toma de decisiones relacionada con la construcción de infraestructura para el tratamiento de agua residual municipal adquiere relevancia. En este caso, la primera interrogante se plantea en torno a la selección de un sitio adecuado para colocar la planta física. Por este motivo, el documento tiene el propósito de apoyar a los responsables de la toma de decisiones en el tratamiento del agua residual municipal, quienes requieren herramientas, apoyo especializado y asesoramiento con el fin de conducir un proyecto de esta magnitud a buen término. En ese caso sus acciones y decisiones serán de gran utilidad para atender una necesidad social.

Con este fin, se propone una matriz de decisión basada en factores ponderados con el fin de brindar objetividad al proceso de selección del emplazamiento para una planta de tratamiento de agua residual, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales relevantes para garantizar una selección informada y responsable. Posteriormente, se retoma la metodología propuesta, por investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM, en la publicación *Tratamiento y reúso de agua residual municipal: metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento*, de gran utilidad para calcular el potencial de reúso de agua tratada alrededor del sitio propuesto como resultado de la evaluación integral.

1.2. Objetivo general

Seleccionar el sitio más adecuado para la disposición de una planta de tratamiento de agua residual mediante una matriz que integre criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales.

1.3. Objetivos específicos

- a) Elaborar una matriz de decisión que incluya criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales, propuestos a partir de la investigación de diversas fuentes bibliográficas, para la elección de un sitio adecuado para la disposición de una PTAR.
- b) Comparar los sitios potenciales utilizando la matriz de decisión desarrollada, con el fin de categorizarlos según su aptitud para la instalación de una planta de tratamiento de agua residual.
- c) Ejemplificar el impacto y alcance de la disposición de una planta de tratamiento en distintas regiones, mediante un ejercicio de aplicación de la matriz donde se enfatice el potencial de reúso del agua tratada.

1.4. Marco de referencia

1.4.1. La situación del agua en México

La crisis hídrica es uno de los mayores desafíos que enfrenta el país en la actualidad puesto que, por una parte, se encuentra comprometida la disponibilidad de agua para las siguientes generaciones, pero, por otra, se cierne una amenaza en torno a la viabilidad de los sectores agrícola, industrial o de servicios públicos urbanos (Núñez, 2024). En la actualidad, incluso, se considera a más de la mitad del territorio nacional como “no sustentable” en términos hídricos (BBVA, 2024).

De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la extracción de agua de los mantos acuíferos subterráneos se sextuplicó durante el siglo XX (COPARMEX, 2024), causando una sobreexplotación que posicionó a México como el cuarto país con mayor extracción de agua del subsuelo, después de China, Estados Unidos e Indonesia (COPARMEX, 2024).

Adicionalmente, la disponibilidad *per cápita* del agua ha disminuido dramáticamente, desde 1960, al pasar de 10,000 a 3,000 metros cúbicos por persona

(IMCO, 2024). Principalmente la reducción es explicable por el crecimiento poblacional, la expansión agrícola e industrial que con el tiempo han aumentado la demanda de agua, además de ser atribuible al cambio climático que exacerba esta situación, causando sequías más frecuentes e intensas. Prueba de este último argumento es que, en 2024 el 75% del territorio ha experimentado algún grado de sequía y respecto al basto del Valle de México, el sistema de Cutzamala alcanzó su nivel más bajo en 27 años, por lo que los expertos comenzaron a estimar el denominado “Día Cero” del que se continúa hablando (Álvarez, 2024).

Otro desafío que contribuye al agravamiento de la crisis hídrica en México tiene que ver con la contaminación del agua, debido principalmente a las descargas sin tratar, por la insuficiencia de infraestructura, provenientes de actividades industriales, agrícolas y urbanas. En el país, el 60% del agua potable proviene de los cuerpos de agua superficiales, mismos que presentan contaminación por el agua residual, que en la mayoría de los casos es vertida sin tratamiento previo por lo que contiene elementos o sustancias contaminantes disueltas (COPARMEX, 2024), afectando tanto la salud de los ecosistemas acuáticos como la salud pública de millones de personas que dependen de estos recursos.

Además, la mala gestión del agua a nivel gubernamental, así como, la corrupción y la falta de inversión son factores que agravan la deficiente administración de los recursos hídricos y perpetúan la insuficiencia de la infraestructura hidráulica en el país.

Aunado a lo anterior, la falta de mantenimiento, la obsolescencia de muchas plantas de tratamiento y la reducción de presupuestos son obstáculos que impiden llevar una buena gestión de este recurso, provocando a su pérdida y desperdicio de recursos hídricos.

Frente a estos escenarios adversos, con la participación de la academia se identifican opciones para mejorar la gestión del agua en México, por ejemplo, la reutilización del agua tratada que, en opinión de Jennifer Sara, directora global de la Práctica Global de Agua del BM “debe ser parte de la solución a los problemas de escasez y contaminación” (Ávila, 2024). En cuyo caso, de acuerdo con el IMCO es primordial modernizar la regulación del agua para fomentar una mayor coordinación entre las partes involucradas, aumentar la inversión y realizar el mantenimiento necesario en la infraestructura hídrica. También propone que el Presupuesto de Egresos de la Federación, aprobado anualmente por el Congreso de la Unión, asegure recursos suficientes para que la CONAGUA pueda promover el mayor volumen de tratamiento del agua residual municipales (IMCO, 2024).

1.4.2. Tratamiento del agua residual en México

En México, la gestión del agua es un tema crítico, especialmente en un contexto de escasez, creciente demanda, contaminación y distribución desigual. En este contexto la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) identificó que, en 2020, aunque el 96% de la población tenía acceso a agua potable, solo el 43% lo hacía de manera segura, y en cuanto a saneamiento, únicamente el 57.3% de la población contaba con un servicio gestionado de forma adecuada.

En estas condiciones, el tratamiento del agua residual, entendido como un servicio enfocado a la separación de la carga orgánica presente en esta agua con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de residuos y contaminantes, en cumplimiento con las Normas Oficiales Mexicanas (Gobierno de México, 2018), se ha convertido en una opción para proveer de agua limpia a la población a partir de la mitigación de contaminantes en los cuerpos de agua superficiales.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2024 solo en 985 de los 2446 municipios del país se realiza algún tratamiento al agua residual (AGQLabs, 2024); Sin embargo, apenas el 49.1% del agua recolectada en 2020 se trataba adecuadamente, dejando aproximadamente un 50% sin tratamiento, lo que resulta en descargas directas y sin control en cuerpos de agua como obra en informes sobre el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, publicados en las páginas gubernamentales (Trujillo, 2022).

A partir de estos datos se denota que la infraestructura hidráulica del país no solo es insuficiente, sino que también es obsoleta, en muchos casos las plantas de tratamiento operan por debajo de su capacidad debido a la falta de mantenimiento y actualización tecnológica. La propia CONAGUA ha reportado que de las 2,642 plantas de tratamiento del agua residual que operan, en México apenas el 57% funcionan de manera óptima por lo que, la capacidad instalada total es mayor al caudal tratado real el cual es de 141,479.04 metros cúbicos (AGQLabs, 2024).

Desde otra perspectiva, la cobertura adecuada de los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico influye en el desarrollo económico, contribuyendo con la productividad agrícola, del sector industrial y del turismo, así como, en el desarrollo social al ser factores claves en el mejoramiento de la salud, educación y medio ambiente.

En resumen, la utilización de tecnologías avanzadas para el tratamiento del agua residual ofrece soluciones viables y económicamente accesibles para sanear el agua, haciéndola apta para usos agrícolas, industriales y domésticos, de este modo la participación conjunta del gobierno, el sector privado, las instituciones de educación

superior y las autoridades de las entidades federativas y la sociedad son determinantes para atender esta problemática.

Desafíos actuales en el tratamiento del agua en México

Durante el siglo XXI México ha enfrentado una crisis hídrica de magnitud preocupante, caracterizada por una combinación de factores que amenazan la sostenibilidad y el bienestar de su población, dado que la oferta del vital líquido se torna insuficiente para satisfacer la creciente demanda colocando al país en una posición precaria en el continente americano, toda vez que en 2020 era el segundo país con mayor estrés hídrico en la región (Navarro, 2023).

Entre los principales desafíos hídricos se encuentra la sobreexplotación severa de los acuíferos, agravada por una gestión deficiente y una regulación laxa en décadas anteriores, así como, la contaminación de fuentes hídricas por descargas de agua residual no tratada procedente de la industria y la agricultura, dado que aproximadamente el 70% de los ríos y lagos en México están contaminados (INCOTEX, 2024) y causan afectaciones a la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. Al respecto, dos de los retos urgentes tienen que ver con garantizar el cumplimiento normativo y modernizar las infraestructuras industriales destinadas al tratamiento del agua residual.

Respecto a la infraestructura los factores de mayor relevancia son la atención de la obsolescencia y el aumento de la inversión en nuevas tecnologías porque a partir de ello se podrán superar deficiencias en mantenimiento y capacidad operativa a fin de fortalecer la capacidad de tratamiento y dotar a la población de agua de calidad disponible para consumo humano y actividades industriales.

En lo que concierne a la calidad del agua, la reciente actualización de la normativa NOM-001-SEMARNAT-2021 representa un gran reto para el país pero, también, un paso significativo hacia el cumplimiento de estándares más rigurosos en el tratamiento del agua residual industrial, sin embargo, su implementación enfrenta la resistencia de varios sectores, en especial del industrial, debido a los altos costos asociados con la rehabilitación o construcción de infraestructura puesto que la mayoría de las plantas de tratamiento existentes se encuentran obsoletas para cumplir la nueva legislación (De la Rosa, 2022). Dicha situación subraya la necesidad de buscar un equilibrio entre la protección ambiental y la viabilidad económica.

De acuerdo con lo anterior, la crisis hídrica plantea desafíos ambientales, sociales y económicos que requieren abordarse, con el fin de ilustrar esta afirmación baste decir que algunos especialistas consideran que la contaminación cuesta al país 57 mil

millones de pesos anuales, equivalente al 0.3% del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que los daños ambientales alcanzan los 900 mil millones de pesos anuales, representando el 5% del PIB nacional (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, s. f.), aspectos que afectan el desarrollo económico sostenible del país.

En consecuencia, la promoción de la economía circular, la reutilización del agua tratada y que el uso de tecnologías avanzadas para el tratamiento como sistemas de filtración eficientes, emergen como estrategias clave para mitigar el estrés hídrico lo que contribuiría a reducir la dependencia de fuentes externas.

II. Marco teórico y contexto de aplicación de la matriz de decisión

2.1. Fundamentación teórica

Dado que alrededor de la localización y construcción de una planta de tratamiento de agua residual confluyen factores de inversión de recursos económicos, tecnológicos, constructivos, de gestión gubernamental, entre otros, es necesario adoptar un enfoque técnico, orientado a identificar, planear y ponderar las acciones tendientes a lograr un avance organizado y programado del proyecto hídrico cuyo componente esencial es responder al derecho humano al agua y saneamiento, sustentado en una visión de corto mediano y largo plazos.

De esta forma, la instalación de una planta de tratamiento de agua residual requiere partir de un enfoque integral sobre el agua conforme se propone en el libro *Tratamiento y reúso de agua residual municipal: Metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento*, realizado por especialistas del Instituto de Ingeniería de la UNAM, es importante considerar tres etapas en el proceso de evaluación:

1. Identificación de la región de estudio.
2. Evaluación técnica de las plantas de tratamiento de agua residual existentes en la región.
3. Cuantificación del potencial de reúso de agua tratada en la región (Morgan et. al., 2023).

A partir de este modelo de trabajo es posible tomar decisiones objetivas, basadas en la identificación de la situación actual, aspectos técnicos, recursos disponibles, así como de otra información de naturaleza constructiva, reordenamiento, calidad del agua, gestión de recursos hídricos, y aprovechamiento óptimo de los recursos.

2.1.1. Matriz de decisión como herramienta de evaluación

En términos generales, una matriz de decisión es una herramienta de planeación orientada a evaluar y elegir la mejor opción entre un conjunto de ellas, conforme a criterios establecidos. Si bien en la literatura adquiere distintos nombres como Matriz de Pugh, Análisis de cuadrícula, Teoría de la utilidad multiatributo, Matriz de

selección de problemas o Cuadrícula de decisiones para la elaboración de la propuesta se adopta la primera denominación.

Origen y concepto de la Matriz Pugh

La necesidad de elegir entre diversas alternativas, a pesar de la ausencia de reglas sistemáticas infalibles ha sido una constante desde la antigüedad, por ello se han desarrollado modelos que, aunque no son infalibles, proporcionan una base científica para reducir los riesgos e incertidumbre en la toma de decisiones.

De acuerdo con estudios de Hammond, Keeney y Raiffa, citados por Berumen, S. y Llamazares, F. (2007) las decisiones se fundamentan en componentes cuantificables que permiten ponderar el riesgo y elegir la alternativa más satisfactoria o la menos insatisfactoria. En ese mismo artículo, los autores, con base en la literatura analizada, encuentran que los problemas de decisión pueden clasificarse en las categorías de:

1. Problemas de decisión multiobjetivo con alternativas infinitas.
2. Problemas de decisión multicriterio discretos, con alternativas finitas, cuyos principales métodos son:
 - Ponderación lineal (Scoring)
 - Utilidad multiatributo (MAUT)
 - Relaciones de *sobre clasificación*
 - Análisis jerárquico (AHP)

En específico, mediante el proceso de análisis jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas L. Saaty se descomponen los problemas complejos en una estructura jerárquica de atributos con tres niveles:

1. Objetivo global
2. Criterios y alternativas
3. Determinación de la influencia de los atributos en el objetivo de la decisión mediante comparaciones *pareadas* a las que, finalmente, se les asigna valores numéricos para reducir la subjetividad en la toma de decisiones

Uno de los procesos de análisis jerárquico más representativos es la matriz de decisión, desarrollada por Stuart Pugh, la cual es una técnica cuantitativa se utiliza para clasificar diversas opciones basándose en múltiples criterios de análisis permitiendo comparar alternativas mediante un arreglo multidimensional, lo cual es particularmente útil en la gestión de proyectos.

Estructura y aplicación de la Matriz Pugh

Una matriz de decisión se representa en una tabla sencilla cuya funcionalidad es realizar una evaluación sistemática de opciones. El proceso inicia con la identificación de los criterios de evaluación que se disponen en las filas de la matriz. Posteriormente, se definen las posibles opciones que deberán satisfacer estos criterios, mismas que se colocan en las columnas.

Cada una de estas opciones recibe una puntuación por criterio que se pondera de acuerdo con su importancia; además, para evaluar cada alternativa generalmente se utiliza un concepto de referencia como punto de comparación y se le asigna un puntaje en función de su desempeño relativo.

Como muestra gráficamente en la figura 2.1 la puntuación total de cada opción se obtiene multiplicando estas puntuaciones por sus ponderaciones y sumándolas, este enfoque permite visualizar y cuantificar las compensaciones entre opciones, favoreciendo decisiones más informadas y objetivas.



Figura 2.1 Proceso de evaluación de la Matriz Pugh

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: Berumen, S. y Llamazares, F. (2007). La utilidad de Los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. Cuadernos de Administración, 20(34), 65-87.

Ventajas y limitaciones de la Matriz Pugh

En la figura 2.2 se resumen gráficamente las ventajas y desventajas de la matriz.

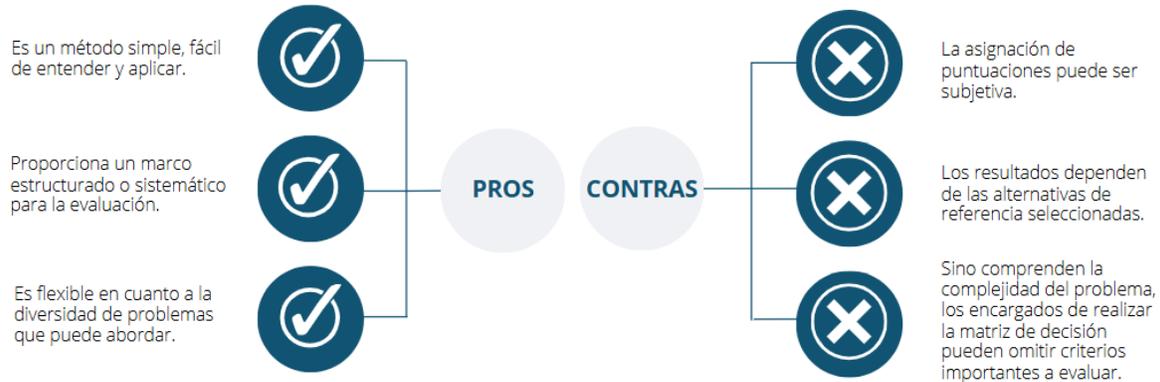


Figura 2.2 Ventajas y desventajas de la Matriz Pugh

Nota: Elaboración propia

2.2. Aplicaciones del análisis de decisiones en el contexto de la PTAR

2.2.1. Aspectos sociales, indicadores a considerar

En un proyecto orientado a la selección de un sitio destinado a una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), como en cualquier otro proyecto tecnológico o de ingeniería, es fundamental considerar los aspectos sociales dado que contextualizan la interacción, influencia y calidad de vida que tienen los individuos de la comunidad al considerar temas como densidad poblacional, distribución demográfica, índices de escolaridad o de marginación, entre otros (Herrera 2010).

En primer lugar, es importante considerar los aspectos sociales para elegir el sitio de la PTAR con el propósito de considerar los impactos en la aceptación y viabilidad del proyecto por parte de la población local. Por ello, esta decisión debe considerar la participación de todos los actores involucrados, como trabajadores, comunidad local, proveedores y entidades gubernamentales. Además, la participación de los beneficiarios en la planificación del proyecto es crucial para el éxito de la intervención, ya que fomenta un mayor sentido de responsabilidad, especialmente en relación con el pago de las tarifas de agua residual una vez que el servicio pudiera funcionar (Noyola et. al. 2013).

La evaluación de estos aspectos también contribuye a la identificación de preocupaciones y necesidades específicas en la comunidad, favorece la inclusión de soluciones culturalmente apropiadas y socialmente aceptables, al mismo tiempo que fomenta la equidad y la justicia en la distribución de los beneficios y la mitigación de posibles impactos negativos del proyecto que afecten la calidad de vida de la población local.

Demografía

El primer indicador tiene que ver con el componente demográfico, entendido como el análisis estadístico de la población con el objetivo de identificar el tamaño, la densidad, la distribución o las tasas de vitalidad, variables que contribuyen a comprender la composición y dinámica de los habitantes de una determinada región o localidad (CONAPO, 1999).

En el contexto de los criterios de decisión respecto a la ubicación de la PTAR los datos demográficos son determinantes para calcular el tamaño y la capacidad requeridos para la planta de tratamiento. Además, al considerar los escenarios de crecimiento poblacional, se pueden proyectar expansiones futuras de la planta y evitar la obsolescencia prematura de la infraestructura.

Además, la demografía es importante para tomar decisiones informadas sobre la ubicación y el diseño de una PTAR, ya que permite identificar estrategias para optimizar su rendimiento y, con ello, su operación a largo plazo, además de un enfoque de responsabilidad ambiental y de satisfacción de las necesidades actuales y futuras de la comunidad.

a) Población

Entendida la población como el número total de habitantes o personas que residen efectivamente dentro de los límites fronterizos de un país, territorio o área geográfica en un punto específico del tiempo (OPS, 2014), en el proceso de diseño de la PTAR será necesario estimar la población futura y calcular el periodo de diseño establecido con el objetivo de realizar una gestión adecuada de los recursos hídricos locales y económicos de la obra, reducir la incertidumbre en el diseño de la planta y planear su funcionamiento.

A favor de las proyecciones poblacionales es viable argumentar que la cantidad de habitantes influye directamente en la cantidad de agua residual que se requiere generar en un área determinada, lo que significa una mayor demanda de agua limpia y saneamiento, factores de gran peso para decidir sobre la construcción de una

planta de tratamiento de agua residual para preservar la salud pública y el medio ambiente (César y Vázquez, 1994).

b) Densidad poblacional

La densidad poblacional se define como la relación entre el número de habitantes y la extensión del área en la que residen, comúnmente se expresa en habitantes por kilómetro cuadrado (SNIARN, 2022). Esta medida demográfica es un insumo relevante para evaluar el grado de concentración o dispersión de la población en un determinado territorio y sus implicaciones sociales, económicas y ambientales.

Por ejemplo, una alta densidad poblacional se refleja en condiciones de hacinamiento en detrimento de la calidad de vida de los habitantes que, a su vez, genera una mayor demanda de recursos e insumos locales, como alimentos, agua y servicios básicos (INEGI, s. f.).

En otras palabras, las áreas densamente pobladas requerirán de una cantidad de agua considerablemente mayor para abastecer las demandas humanas, agrícolas, industriales, etc.

c) Tasa de crecimiento media anual

La tasa de crecimiento poblacional se define como la variación media anual en el tamaño de la población de un país, territorio o área geográfica durante un periodo específico. Se calcula como la relación entre el incremento anual del tamaño poblacional y la población total para dicho año, generalmente se multiplica por 100 para expresarlo en términos porcentuales (Cordera, 2015). Esta medida, también conocida como crecimiento demográfico, es un indicador estrechamente ligado al aumento en las demandas de infraestructura, recursos, servicios y empleo de la población si se visualiza una tendencia creciente.

Para fines de este análisis, una tasa de crecimiento alta se vincula a un aumento significativo en el consumo de agua y, por ende, la implementación del proyecto adquiere una mayor relevancia en el sitio, al generar un impacto positivo tanto a corto como a largo plazo ya que ayudaría satisfacer las necesidades hídricas de la población.

Grado promedio de escolaridad

El grado promedio de escolaridad de la población es un insumo informativo especialmente útil para la realización de análisis respecto al nivel educativo de los habitantes de una región determinada. El indicador refleja el promedio de grados

escolares completados por individuos mayores de 15 años, lo que refleja el panorama educativo de un área geográfica y favorece comparaciones a nivel nacional e internacional (SEMARNAT, s. f.).

Es un indicador muy importante en la planificación y ejecución de los proyectos civiles, incluidos los relacionados con el manejo y tratamiento del agua residual debido a que un elevado nivel de educación puede incidir significativamente en aspectos clave como la comunicación, la aceptación, la colaboración y la capacidad de la comunidad para cumplir con los requisitos y regulaciones pertinentes.

Por ejemplo, la educación comunitaria es una herramienta propicia para concienciar sobre la importancia de la gestión adecuada del agua e impulsar la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones sostenibles y efectivas. La implementación de campañas comunitarias para promover un cambio en los conocimientos, actitudes y comportamientos puede resultar más efectiva en comunidades con un alto grado promedio de escolaridad. En tales contextos, es más probable que se produzca una aceptación favorable de estas campañas, lo que incrementa las posibilidades de adoptar prácticas y medidas que contribuyan a resolver el desafío del manejo adecuado del agua.

Hogares con conexión a Internet

El indicador de hogares con conexión a Internet se refiere a las viviendas equipadas con acceso a la red, ya sea a través de banda ancha, Wi-Fi u otros medios de conexión. Esta medida es considerada para evaluar un sitio adecuado donde disponer una PTAR porque la falta de conexión es un factor que dificulta la implementación de sistemas de monitoreo o control remoto, situación que afecta la supervisión y gestión del proyecto en tiempo real, además de generar retrasos en la detección de problemas en el proceso de tratamiento que potencialmente conduce a un funcionamiento deficiente y la liberación de efluentes contaminados al medio ambiente.

Además, la falta de conexión a Internet limita la recopilación, el análisis de datos y dificulta la coordinación con otras entidades, como autoridades reguladoras y proveedores de servicios, factores que comprometen la capacidad de la planta para cumplir con los estándares de calidad y seguridad establecidos. Esta carencia también impacta la comunicación y participación comunitaria al limitar la capacidad de los residentes locales para involucrarse en el proceso de toma de decisiones y expresar sus preocupaciones sobre la planta, potencialmente generando tensiones y conflictos en la comunidad.

Asimismo, la educación y sensibilización pública sobre temas relacionados con el agua y el medio ambiente se ven afectadas debido a la falta de acceso a información en línea, tendiente a propiciar que los residentes locales comprendan la importancia de construir una PTAR en su comunidad y los riesgos asociados con la contaminación del agua. Adicionalmente, la falta de acceso a información en línea merma la capacidad de respuesta ante emergencias ambientales y de salud pública relacionadas con la planta.

Viviendas particulares con agua entubada

Se entiende por viviendas particulares habilitadas con agua entubada a las unidades de vivienda que disponen de conexiones a la red pública de distribución de este vital líquido, es decir con acceso a recursos hídricos de manera continua y segura mediante tuberías que transportan el líquido y grifos ubicados en diversas instalaciones como la cocina, el baño u otras áreas similares (INEGI, 2023B). De esta manera, los habitantes acceden a agua potable proveniente de una fuente confiable que garantiza un suministro adecuado, lo que contribuye a mejorar las condiciones de vida en la comunidad.

La presencia de viviendas particulares con acceso a agua entubada es un indicador representativo de la infraestructura disponible en una región que puede ser determinante para evaluar la viabilidad de proyectos como la construcción de plantas de tratamiento de agua residual. Esta infraestructura es esencial para el suministro continuo de agua necesario para llevar a cabo los procesos de tratamiento efectivo, al tiempo que sugiere un nivel de desarrollo y capacidad técnica en la región, lo que puede facilitar la implementación y mantenimiento adecuados de la infraestructura a largo plazo.

Por otro lado, la ausencia de infraestructura para agua entubada podría resultar en un tratamiento ineficaz del agua residual y la contaminación del medio ambiente, lo que a su vez podría tener consecuencias negativas para la salud pública y la calidad del agua en la región. Además, la falta de esta infraestructura puede dar indicios de falta de apoyo gubernamental o comunitario para el proyecto, lo que podría dificultar su implementación y sostenibilidad.

Hogares con servicio eléctrico

El indicador se refiere a las viviendas que tienen acceso a la electricidad para satisfacer sus necesidades básicas y el funcionamiento de dispositivos eléctricos dentro de las mismas. Este servicio es crucial para el desarrollo socioeconómico de

las familias, ya que permite mejorar su calidad de vida y facilitar el acceso a otros satisfactores (CEPAL, 2022).

La construcción de una planta de tratamiento de agua residual en un sitio sin servicio eléctrico presenta desafíos técnicos y sociales que influyen en la viabilidad de la opción. En primer lugar, la operación de una planta de tratamiento de agua residual requiere una cantidad significativa de energía eléctrica para alimentar equipos de bombeo, sistemas de tratamiento y otros procesos necesarios para el tratamiento efectivo de los desechos. De esta manera, la falta de este servicio restringe la capacidad de la planta para funcionar eficientemente, puesto que compromete su capacidad para depurar adecuadamente el agua residual lo cual pone en riesgo la salud pública y el medio ambiente.

En segundo lugar, la falta de acceso a la electricidad indica un bajo nivel de desarrollo socioeconómico en la comunidad que dificulta su acceso a servicios básicos y obstaculiza las actividades diarias, como el trabajo, el estudio y el acceso a información, que son factores que repercuten directamente en la implementación de una PTAR.

2.2.2. Aspectos geográficos ambientales y contexto hídrico

Los aspectos ambientales comprenden el entorno que abarca todas las interacciones y conexiones del proyecto con el medio ambiente circundante, tanto en términos de entrada de recursos como en la salida de productos y sus efectos secundarios (Perevochtchikova, 2013). Por otro lado, los aspectos geográficos se relacionan con la ubicación y características físicas del entorno, incluyendo la disponibilidad de recursos hídricos, la topografía del terreno, la proximidad de áreas habitadas y la presencia de infraestructura (UNICEN, s. f.).

Es preciso evaluar los aspectos ambientales y geográficos para seleccionar un lugar adecuado para construir una PTAR, toda vez que son determinantes en términos de disponibilidad y accesibilidad de recursos hídricos, entre ellos ríos, lagos o acuíferos. Al mismo tiempo, la topografía del área puede influir en la eficiencia operativa de la planta y en la disposición final de los efluentes tratados. Al respecto, considerar la proximidad a áreas habitadas y la infraestructura existente contribuye a la viabilidad operativa y logística de la planta.

Por otro lado, la evaluación ambiental permite identificar posibles impactos negativos en el ecosistema circundante y tomar medidas para mitigarlos. Este tipo de análisis incluye criterios de calidad del agua, salud de los cuerpos receptores y presencia de hábitats sensibles que podrían verse afectadas por las actividades de

una planta (Garapen Iraunkorra, 2009). Esto permite tomar decisiones informadas y sostenibles en la planificación y construcción de infraestructura.

Temperatura

La temperatura es un factor que se considera al seleccionar el sitio en donde se va a disponer una PTAR debido al gran impacto que genera en los procesos biológicos, por ejemplo, la velocidad de las reacciones enzimáticas que se encargan del metabolismo de las bacterias responsables del tratamiento está estrechamente ligada a la temperatura. En temperaturas bajas, la actividad enzimática disminuye, lo que afecta la eficiencia de los procesos biológicos, y al contrario, en temperaturas altas, la actividad enzimática se incrementa, aunque debe mantenerse por debajo de los 40°C pues una variación significativa en la temperatura puede alterar la rapidez y la eficiencia de degradación de ciertos procesos biológicos.

Hidrología e infraestructura hidráulica

La hidrología se refiere al estudio y análisis de las condiciones en las que se encuentran los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, así como la evaluación de la calidad del agua mediante los análisis químicos de muestras obtenidas en los cuerpos de agua de una región (INEGI, s. f.b). Este campo de estudio proporciona información sobre la disponibilidad, cantidad y calidad del agua en una determinada región, lo que es fundamental para comprender y gestionar de manera eficaz los recursos hídricos en dicha área. Entre tanto, la infraestructura hidráulica alude a la construcción de bienes inmuebles destinados al manejo y aprovechamiento del agua que incluyen la captación, extracción, desalación, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento del agua, así como su tratamiento y reutilización.

Desde esta perspectiva, evaluar la hidrología y la infraestructura hidráulica de una comunidad adquiere importancia en la toma de decisiones respecto a una PTAR. La comprensión de la hidrología local permite conocer la disponibilidad y calidad del agua para ofrecer un suministro adecuado de agua para el funcionamiento de la planta. Además, la evaluación de redes de distribución de agua y sistemas de alcantarillado contribuye a determinar la viabilidad del proyecto, dado que una infraestructura hidráulica adecuada facilita la conexión de la planta a la red de alcantarillado y garantiza la disposición segura de los efluentes tratados (Arreguín, 2021).

En contraposición, si la infraestructura hidráulica de la comunidad es insuficiente o inexistente, se afrontan serios desafíos para la construcción y operación de la planta. En tales casos, se requerirían inversiones adicionales para garantizar un suministro adecuado de agua y una disposición segura de los efluentes tratados, lo que afecta la viabilidad económica y técnica del proyecto.

a) Situación de los recursos hídricos

Los recursos hídricos son los medios disponibles o potencialmente disponibles, en un lugar y un periodo apropiados para satisfacer la demanda identificable (Ingeniería y proyectos LTDA, s. f.). La UNESCO identifica que estos recursos abarcan tanto el agua dulce como la salobre, independientemente de su calidad, y se encuentran en cuerpos continentales, de modo superficial o subterráneo. La evaluación de los recursos hídricos se basa en estadísticas derivadas de monitoreos, mediciones y modelos hidrometeorológicos e hidrológicos (CEPAL, 2024b).

Se analizan los recursos hídricos de una región para determinar el lugar óptimo para construir una PTAR, teniendo en cuenta que la disponibilidad de agua es determinante para el funcionamiento adecuado de la planta se requiere garantizar el suministro suficiente de agua para llevar a cabo los procesos de tratamiento. En el supuesto de que la región carezca de recursos hídricos adecuados habrá escasez que repercutirá en la capacidad para tratar el volumen de agua residual.

Igualmente, al tomar decisiones sobre el uso, la gestión y el tratamiento del agua es elemental considerar las necesidades de todas las partes interesadas, entre ellas las comunidades locales, la agricultura, la industria y el medio ambiente.

b) Obras hidráulicas existentes

Las obras hidráulicas son estructuras civiles diseñadas para la captación, distribución, recolección, tratamiento, control y protección del agua con el objetivo de facilitar el aprovechamiento y manejo del recurso hídrico. Este tipo de obras incluyen presas, embalses, sistemas de captación de agua, redes de distribución, estaciones de bombeo, canales de riego, entre otros elementos, que son fundamentales una región determinada.

La cantidad y calidad de las obras hidráulicas preexistentes en una región es un factor de gran importancia en el proceso de selección de un sitio para construir una PTAR, dado que, en primer lugar, su presencia contribuye a maximizar el aprovechamiento de los recursos hídricos y a promover la sostenibilidad ambiental y económica al favorecer el transporte del agua tratada desde la planta hacia las áreas con potencial para su reutilización. Además, las obras hidráulicas como presas y embalses son claves en el control de inundaciones y al suministro constante de agua

para el funcionamiento de la planta, lo que asegura su operatividad y eficiencia a largo plazo.

Sin embargo, la identificación de numerosas presas, embalses u otras estructuras similares también puede tener implicaciones negativas para el proyecto. Si bien esa infraestructura puede indicar una gestión efectiva del agua en la región, también puede ser un desafío al limitar las opciones de ubicación y diseño de la planta y aumentar los costos asociados con la construcción y operación, especialmente en términos de mantenimiento y mitigación de impactos ambientales.

c) Cobertura de drenaje y alcantarillado

El drenaje y alcantarillado constituyen una red de saneamiento o tuberías usada para la recolección y transporte del agua residual desde los hogares, industrias y otros establecimientos hasta los puntos de descarga (Club IAGUA, 2017). El acceso adecuado a este servicio reduce la mortalidad y morbilidad de la población infantil, así como la incidencia de enfermedades de transmisión hídrica ocasionadas por el consumo de agua contaminada con patógenos o componentes químicos derivados del mal manejo residual, de acuerdo con la SEMARNAT (2013) y Conagua.

Es importante contar con una alta cobertura de drenaje y alcantarillado en la zona circundante de una PTAR porque el acceso de este servicio agiliza la recopilación y transporte residual hacia la planta de tratamiento, lo que garantiza un suministro constante de materia prima y la reducción de gastos asociados con la construcción de nuevos sistemas de recolección, lo que resulta en ahorros significativos de recursos financieros y tiempo.

d) Tomas de agua en operación para abastecimiento público

Las tomas de agua en operación para abastecimiento público, según la definición proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (SNIARN, 2018), son puntos específicos de extracción de agua potable destinada al suministro público. Estos puntos pueden ser tanto fuentes naturales, como ríos, lagos o pozos, como sistemas de distribución de agua construidos. Su función principal es captar agua de calidad adecuada y asegurar su distribución.

La construcción de una PTAR en un lugar con muchas tomas de agua en operación para abastecimiento público se justifica, en primer lugar, porque el tratamiento adecuado del agua residual antes de su descarga contribuiría a minimizar la contaminación de las fuentes de agua naturales, los ecosistemas acuáticos y los riesgos que esta situación genera en la salud.

En segundo lugar, el agua tratada puede ser reutilizada de manera segura para diversos fines, como el riego agrícola, la recarga de acuíferos o la recreación, además de fomentar el uso responsable y sostenible de los recursos hídricos. De esta manera se podría prevenir o aminorar la presión hídrica sobre las fuentes naturales.

e) Puntos de descarga de agua residual municipal sin tratamiento

Son los sitios donde el agua residual se vierte directamente al medio ambiente sin someterse a procesos de depuración de su carga contaminante.

La presencia de un elevado número de puntos de descarga de agua residual municipal sin tratamiento se considera un indicador de la urgencia para implementar nuevos sistemas de tratamiento de agua residual desde una perspectiva científica y de gestión ambiental, toda vez que estas descargas tienen el potencial de contaminar fuentes de agua, provocar daños en los ecosistemas acuáticos y representan un riesgo para la salud pública. Por consiguiente, al mitigar los riesgos mediante el tratamiento adecuado del agua residual antes de su liberación al medio ambiente, se reduce la carga contaminante y se protege la calidad del agua en la zona circundante.

f) Plantas de tratamiento de agua residual, capacidad y caudal en operación

Una PTAR es una infraestructura diseñada para limpiar el agua residual generada por actividades humanas antes de su descarga al medio ambiente. La capacidad de una planta de tratamiento se refiere a la cantidad máxima de agua residual que puede procesar de manera efectiva en un periodo determinado, generalmente expresada en litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por día (m³/día).

Por otro lado, el caudal en operación es el volumen real de agua residual tratada en la planta durante un periodo dado (SEMARNAT, s. f.b.), mismo que puede ser igual o inferior a su capacidad instalada, por ejemplo, cuando los volúmenes tratados exceden la capacidad instalada se vislumbra la necesidad de ampliar la capacidad de tratamiento o una mala estimación del caudal tratado durante su diseño.

El número de plantas de tratamiento de agua residual municipal es un indicador clave para evaluar la cobertura de saneamiento del agua residual en un área determinada. Si bien un aumento en el número de estas instalaciones se puede interpretar como una mejor cobertura de saneamiento, también puede señalar una saturación o redundancia de ese tipo de infraestructura, lo que problematiza la viabilidad de nuevas instalaciones.

En este último caso, no es recomendable la instalación de una nueva PTAR en una región con muchas instalaciones similares porque podría generar competencia,

aumentar los costos operativos y dificultar el mantenimiento por la escasez de los recursos esenciales para su funcionamiento como el agua, la energía y el personal capacitado.

Por otra parte, la concentración de plantas de tratamiento plantea preocupaciones importantes en términos de conservación del medio ambiente y protección de la salud pública debido a la contaminación del suelo y del agua que pudieran acarrear.

g) Cantidad de agua disponible que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021

Es importante considerar la cantidad de agua tratada que cumple con la normativa para asegurar la eficacia de su tratamiento. Una PTAR ubicada en un sitio donde la mayoría o la totalidad del agua tratada cumple con los estándares de la NOM-001-SEMARNAT-2021 refleja que el proceso de tratamiento es efectivo y adecuado para eliminar los contaminantes hasta los niveles permitidos, esto implica que no sería necesario invertir en nueva infraestructura o en la construcción de nuevas plantas. Aunque por sus alcances esta tesis no incluye un análisis directo en el sitio, es importante tener en cuenta este factor ya que garantiza que el tratamiento del agua residual cumpla con los estándares ambientales establecidos, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública.

2.2.3. Suelo y accesibilidad al sitio

El suelo, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), constituye la capa más superficial de la corteza terrestre, abarcando el primer metro de profundidad (INEGI, s. f. c). Su importancia radica en que sirve como sustento para el desarrollo de la vida vegetal y animal, además de fungir como filtro y transformador de contaminantes; el suelo tiende a clasificarse de acuerdo con su uso principal, entre ellos: agrícola, forestal, industrial y habitacional.

La eficiencia en el uso del suelo es fundamental para prevenir la pérdida de hábitats naturales, erosión del suelo y pérdida de biodiversidad, especialmente con prácticas como la deforestación y la urbanización descontrolada. En la planificación de infraestructuras hídricas, como la construcción de plantas de tratamiento de agua residual, es esencial planear la construcción y operación de la planta considerando los usos del suelo circundantes para minimizar los efectos negativos que se pueden presentar en los ecosistemas locales, la biodiversidad y la calidad del suelo.

Además, para cuidar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo también se requiere analizar la disponibilidad de agua en el suelo, dado que este recurso tratado podría

usarse como suministro de algunas actividades para mitigar la escasez los recursos hídricos locales, especialmente en regiones propensas a la sequía.

Por otra parte, la disponibilidad de terrenos idóneos para la construcción de la planta es vital para su viabilidad a largo plazo. Esto implica evaluar aspectos como la accesibilidad, capacidad de expansión futura, distancia con fuentes de agua, infraestructura existente y cumplimiento de regulaciones locales.

Integrar la planificación de infraestructuras hídricas con los usos del suelo y la disponibilidad de terrenos permite una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos. Esto incluye la implementación de medidas de conservación del agua, protección de áreas sensibles y promoción de prácticas de uso del suelo que minimicen la contaminación y maximicen la disponibilidad de agua para los usuarios.

Nivel de sequía

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) define la sequía como un fenómeno natural que se caracteriza por una deficiencia anormal y persistente de humedad, con efectos adversos en la vegetación, los animales y las personas (IMTA, 2019). En el contexto de este estudio, se ha investigado la intensidad de la sequía presente en los municipios con base en la siguiente clasificación, establecida por el Monitor de Sequía de América del Norte (NADM):

- Anormalmente Seco (D0): Categoría que indica una condición de sequedad que no alcanza el nivel de sequía, pero puede preceder a un periodo de sequía. Al inicio, puede retrasar la siembra de cultivos, limitar el crecimiento de plantas y aumentar el riesgo de incendios. Al final, puede persistir el déficit de agua, afectando el crecimiento de cultivos y pastos.
- Sequía Moderada (D1): En este caso se observan daños en cultivos y pastos, junto con un alto riesgo de incendios. Los niveles de agua en ríos, embalses y pozos son bajos, lo que sugiere la necesidad de restricciones voluntarias en el uso del agua.
- Sequía Severa (D2): Se anticipan pérdidas significativas en cultivos y pastos, con un alto riesgo de incendios y escasez de agua. Frente a esta situación, se imponen restricciones en el uso del agua para garantizar su disponibilidad.
- Sequía Extrema (D3): Las pérdidas en cultivos y pastos son graves, y el riesgo de incendios forestales es extremo. La escasez generalizada de agua lleva a restricciones amplias en su uso.
- Sequía Excepcional (D4): Esta categoría representa pérdidas generalizadas en cultivos y pastos, junto con un riesgo excepcional de incendios. Hay escasez total

de agua en embalses, arroyos y pozos, lo que puede provocar situaciones de emergencia.

Investigar la intensidad de la sequía en una región antes de construir una planta de tratamiento de agua residual es necesario porque la sequía puede aumentar la competencia por el agua entre diversos usuarios como la agricultura, la industria y el abastecimiento público, en cuyos casos la operación de una planta podría mitigar cualquier impacto negativo en el suministro de agua durante periodos de sequía mediante el reúso del agua tratada en actividades económicas que consumen gran parte de este recurso. Además, evaluar la intensidad de la sequía permite planear adecuadamente la gestión de recursos hídricos y adoptar medidas de conservación del agua para enfrentar los desafíos asociados con este fenómeno climático.

Disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR

La identificación de los terrenos disponibles en la región donde se planea construir una PTAR es de suma importancia por su incidencia en la viabilidad y eficiencia del proyecto. La determinación del área mínima requerida para su construcción puede variar en función de diversos factores como la capacidad de tratamiento deseada, la tecnología utilizada y las regulaciones locales aplicables; sin embargo, para fines de la propuesta se han investigado terrenos que cuenten como mínimo con una hectárea de superficie, a fin de evitar limitaciones que puedan obstaculizar el desarrollo del proyecto y disponer de la suficiente amplitud para albergar las instalaciones necesarias de la PTAR.

La accesibilidad es otra razón de relevancia en la selección de terrenos porque es necesario considerar el transporte de materiales de construcción, equipos y personal, factores esenciales que se relacionan con los costos, el tiempo estimado en la implementación del proyecto puesto y la optimización de los recursos disponibles.

Accesibilidad al sitio

Se debe considerar la accesibilidad del sitio antes de decidir la disposición de una planta de tratamiento de agua residual porque un sitio con buena accesibilidad reduce significativamente los costos y la logística asociados al transporte de materiales y equipos durante la construcción. Además, simplifica y economiza el movimiento diario del personal operativo. De igual forma, la accesibilidad también proporciona un impulso significativo a la eficiencia de la operación, ya que el mantenimiento, las reparaciones o los repuestos de las instalaciones se pueden conseguir rápidamente. Ahora bien, en términos ambientales ayuda a reducir la

huella de carbono y minimizar las perturbaciones en el entorno natural durante las etapas de construcción y operación, incluso este factor influye en la seguridad pues permite o limita la intervención eficiente en caso de algún incidente.

2.2.4. Aspectos económicos y servicios preexistentes

Los aspectos económicos son factores relacionados con las finanzas, los costos y beneficios, la inversión y la rentabilidad que influyen en un proyecto (Boshell, 2022). En el marco, son criterios de relevancia en la evaluación de una PTAR, dado que proveen de la información necesaria para prever y mitigar o recomendar acciones que minimicen los impactos negativos y maximicen los beneficios para el desarrollo local y el bienestar de las comunidades circundantes.

Asimismo, la información socioeconómica aporta datos sobre el crecimiento económico; la presencia de sectores industriales con alta demanda de agua en los cuales el uso del agua tratada se pueda sustituir por agua potable; la viabilidad económica para invertir en la infraestructura necesaria para el reúso de agua tratada; la existencia de suministros de servicios y mano de obra que puedan desarrollar cadenas de valor alrededor del sistema de reúso para poder calcular el potencial de reúso y determinar el éxito o fracaso del proyecto (Morgan, et. al, 2023).

En este sentido, el agua residual ya no debe considerarse como un "residuo", sino más bien como un recurso, o sea, alinear el tratamiento de agua con los principios de la economía circular, un sistema económico que busca minimizar los residuos y maximizar el aprovechamiento de los recursos. En un comunicado de prensa del Banco Mundial (BM) el especialista en gestión de recursos hídricos Diego Juan Rodríguez destaca que la adopción de principios de economía circular en la gestión del agua residual puede transformar los servicios de saneamiento, convirtiéndolos de costosos a autosustentables y agregando valor a la economía (BM, 2020). Esto ayudaría a los países a superar los problemas de financiamiento en el ámbito del saneamiento, además de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Actividad bancaria y plazas comerciales

La cantidad de centros comerciales y bancos en una región es un indicador estratégico en la evaluación de la construcción de una PTAR debido a sus implicaciones económicas y logísticas. Los centros comerciales son núcleos de actividad económica que atraen a miles de visitantes y compradores, esto refuerza las funciones urbanas y fomenta la mejora de la infraestructura urbana (Saravia, 2017). También, generan una demanda constante de servicios esenciales, incluido el

tratamiento del agua residual, lo que ayuda a justificar la inversión en dicha infraestructura.

Igualmente, la presencia de muchos bancos en una región es un signo de estabilidad y accesibilidad financiera a créditos, préstamos y otros productos financieros necesarios tanto para la construcción como para la operación de la planta de tratamiento, estas prestaciones son fundamentales para cubrir los costos iniciales y de mantenimiento. Complementariamente, una infraestructura financiera robusta atrae inversores y en consecuencia aumenta la viabilidad financiera del proyecto.

Adicionalmente, desde una perspectiva logística, las regiones con centros comerciales desarrollados generalmente cuentan con una infraestructura adecuada de transporte y suelen tener acceso a todos los servicios esenciales como electricidad, agua potable, telecomunicaciones, etcétera. Factores que podrían favorecer el transporte de materiales, equipos y recursos para la operación eficiente de una planta de tratamiento de agua residual.

Inclusive, se incrementa la viabilidad económica del proyecto dado que las actividades económicas en centros comerciales y bancos pueden generar una demanda significativa de agua tratada para diversas aplicaciones no potables, como el riego de jardines, sistemas de enfriamiento y limpieza, aspecto que se alinea con los principios de la economía circular la cual busca maximizar el aprovechamiento de los recursos y minimizar los residuos.

Población económicamente activa

La población económicamente activa (PEA) considera a las personas de 15 años y más que tienen un vínculo con la actividad económica o que han buscado activamente empleo en el periodo de referencia de una encuesta laboral. Es un indicador que refleja la salud económica de una región. Por ello, en términos de estabilidad económica y demanda de servicios, un alto nivel de PEA indica una economía local activa y en crecimiento que se traduce en una mayor demanda de servicios esenciales como el tratamiento del agua residual y prevé una utilización constante de la planta, lo que justifica la inversión en su construcción y operación (BANXICO, 2021).

En este caso una región con PEA elevada normalmente genera mayores ingresos que favorecen la recaudación de impuestos o tarifas y la presencia de una población con empleo estable que, por una parte, abre la oportunidad de financiar proyectos de infraestructura y, por otra, aporta atractividad para los inversores externos

interesados en la estabilidad o el potencial de crecimiento de la región, lo que facilitaría la obtención de financiamiento adicional.

Por otro lado, la disponibilidad de mano de obra en una región con un alto índice de PEA se traduce en un mayor número de trabajadores calificados que se demandarán para las etapas de construcción, operación y mantenimiento de la PTAR. Por consiguiente, habría una reducción en los costos laborales y se contribuiría con la continuidad del proyecto al minimizar la necesidad de importar mano de obra de otras regiones. Aunado a esto, la disponibilidad de recursos humanos locales puede mejorar la aceptación comunitaria dado que los proyectos que generan empleo y mejoran la infraestructura básica suelen recibir un mayor apoyo comunitario, facilitando la implementación y reduciendo la resistencia social del proyecto.

En otras palabras, la importancia de evaluar si la región cuenta con una economía activa y en crecimiento es alta, puesto que representa un área mejor equipada para sostener y expandir las infraestructuras necesarias, adaptándose a las demandas cambiantes y manteniendo la operación eficiente de la planta de tratamiento de agua residual. Además, la integración de la planta dentro del contexto económico abre la posibilidad de crear sinergias con otras actividades económicas, potenciando el desarrollo regional y contribuyendo al bienestar general de la comunidad.

Agricultura

La agricultura considera el cultivo de la tierra y el conjunto de actividades y conocimientos relacionados con ella, su fin es obtener productos de origen vegetal para la alimentación humana o del ganado por lo cual es una pieza clave para la economía y el sustento de varias comunidades (Colegio de México, 2024).

La disponibilidad de agua es determinante para el éxito de los productores agrícolas a nivel mundial, según O'Neill y Dobrowolski (2011), más del 60% de todas las extracciones de agua dulce del mundo se destinan a riego agrícola, lo que subraya la importancia de analizar la influencia de esta actividad económica en la región previo a la instalación de una PTAR. De esta forma, la ubicación de un proyecto de tratamiento de agua residual en una región con basta actividad agrícola abre oportunidades para los agricultores de contar con una fuente de agua constante y confiable, minimizando su dependencia de las fuentes de agua dulce, lo cual es especialmente valioso en áreas con escasez de agua. Además, el costo de tratar el agua residual para cumplir con los estándares de calidad adecuados es generalmente menor que el costo del agua potable de fuentes no convencionales, como la desalinización, lo que hace que el agua tratada sea una opción económicamente viable para el riego agrícola.

La mejora de la fertilidad del suelo es otro beneficio asociado a la utilización del agua residual tratada, al constituirse de nutrientes como nitrógeno y fósforo, esenciales para el crecimiento de las plantas. Este factor abona en la disminución de fertilizantes químicos y en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Del mismo modo, el suministro de agua de riego asequible y sostenible puede apoyar y fortalecer la economía agrícola local a través del desarrollo de grandes áreas agrícolas también refleja una base económica sólida para muchas comunidades rurales, aspectos ligados al empleo y el bienestar económico de la región.

Además, la implementación de proyectos de reutilización del agua residual en áreas agrícolas puede tener gran aceptación por las autoridades regulatorias y las comunidades locales, siempre y cuando se sigan las normativas de calidad y seguridad del agua, evidentemente un aspecto crucial para el éxito del proyecto, garantizando la colaboración y el apoyo de los actores locales.

a) Superficie sembrada anual

La superficie sembrada anual se define como el espacio de tierra en el que se deposita la semilla de cualquier cultivo durante el año, después de una preparación previa del suelo. Esta información representa el dimensionamiento de las zonas agrícolas, se obtiene por medio de la información censal reportada en el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), y se utiliza para el cálculo de la demanda hídrica por unidad de producción agrícola.

b) Servicios relacionados con la agricultura

Los servicios relacionados con la agricultura son proporcionados por técnicos, profesionistas o empresas independientes especializadas en actividades como recolección, empaque, trilla, descascarado, desgrane, curado, siembra, fertilización, poda, envasado, trasplante, el diseño, la operación de las cosechas, así como riego y distribución de agua, generalmente gestionados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR).

Estos servicios también comprenden el alquiler de maquinaria y equipo con operador y trabajos pre agrícolas como el barbecho, subsuelo y rastreo. La provisión de estos servicios especializados permite a los agricultores optimizar sus operaciones, mejorar la productividad y garantizar la calidad de sus productos.

Ganadería

La ganadería es una actividad del sector primario que consiste en la cría, tratamiento y reproducción de animales con fines de producción para el consumo humano (SIAP,

2018), por ejemplo, la elaboración de alimentos como carne, leche y sus derivados. Desde esta perspectiva, si se contempla que la ganadería requiere una cantidad considerable de agua para llevar a cabo sus actividades esenciales como riego de pastos y forrajes y limpieza de establos y recintos ganaderos, la disponibilidad del agua residual tratada representa una fuente de agua confiable y económica que puede aligerar la presión sobre los recursos de agua dulce, este aspecto sería vital para gestionar el uso del agua de manera eficiente y evitar conflictos entre usuarios (Álvarez y Latorre, 2023).

Además, la ganadería puede beneficiarse de los subproductos del tratamiento de agua residual, como el lodo tratado, que puede ser utilizado como fertilizante para mejorar la calidad del suelo y aumentar la productividad de las tierras de pastoreo, aunque, es esencial que el lodo sea tratado adecuadamente para eliminar patógenos y contaminantes, garantizando la seguridad tanto de los animales como de los humanos que consumen los productos ganaderos (Mendoza-Retana, et. al., 2021).

Por otra parte, conforme al artículo “El agua en explotaciones ganaderas” publicado por Elika, Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria en 2012, una región con actividad ganadera significativa puede justificar la inversión de una PTAR debido a la alta demanda del recurso hídrico y el uso de agua tratada puede reducir los costos operativos de las explotaciones ganaderas. Por tal razón, en regiones con una fuerte presencia ganadera, la implementación de infraestructura de este tipo puede ser bien recibida si se demuestra que beneficiará a la industria ganadera local.

a) Existencias de ganado porcino

A través del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), un sistema para la difusión de estadísticas agropecuarias y pesqueras, se obtuvieron los datos del último inventario porcino municipal. El reporte detalla el número de cabezas de cerdo destinadas a la producción de carne en el municipio.

b) Existencias de ave de corral

A través del mismo (SIACON) se obtuvieron los datos del más reciente inventario avícola municipal. El reporte especifica el número de gallinas y guajolotes destinados a la producción de carne y la obtención de huevos en el municipio.

c) Servicios relacionados con la cría y explotación de animales

De acuerdo con el INEGI, este tipo de servicios aluden a la explotación de animales en cualquiera de sus fases (cría, reproducción, engorda y uso).

Acuicultura

Por su parte, la acuicultura es una actividad del sector primario que implica la explotación de animales acuáticos en ambientes controlados, ya sea en agua dulce o salada. Esta práctica incluye el cultivo y producción de organismos acuáticos como peces, crustáceos, moluscos y algas para consumo humano y otros usos (SADER, 2019).

Considerar la acuicultura en una región antes de construir una planta de tratamiento de agua residual es importante porque influye en varios aspectos socioeconómicos y ambientales; concretamente, según un estudio (Tilley et al. 2018) la acuicultura puede beneficiarse directamente del uso de agua residual tratada toda vez que los peces y otros organismos acuáticos pueden ser cultivados en lagunas que reciben efluentes o lodos, donde se alimentan de algas y otros organismos que prosperan en un entorno rico en nutrientes (Wang et al. 2023).

Este enfoque permite la remoción de algunos nutrientes del agua residual, lo que contribuye a mejorar la calidad del agua antes de su liberación al medio ambiente o su reutilización. A su vez, los organismos acuáticos cultivados pueden ser cosechados para consumo humano, ofreciendo una fuente adicional de alimentos y potencialmente mejorando la seguridad alimentaria local por lo cual este enfoque ofrece un potencial considerable para expandir la producción acuícola de manera sostenible y económica.

Industrias manufactureras

Las industrias manufactureras son unidades económicas dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias para obtener productos nuevos (INEGI, 2024). Este sector incluye actividades como el ensamble en serie de partes y componentes, la reconstrucción en serie de maquinaria y equipo industrial, comercial o de oficina, así como el acabado de productos manufacturados mediante procesos como el teñido, tratamiento calorífico y enchapado. También se consideran las mezclas de productos para obtener otros productos como aceites, lubricantes, resinas plásticas y fertilizantes. Estas unidades se encuentran en los sectores 31-33 del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN 2018).

La industria manufacturera es un sector clave de la economía que demanda un gran volumen de agua para sus procesos de producción y mantenimiento de instalaciones que pueden apoyarse en el suministro de una planta de tratamiento en usos no potables. De esta manera, se conseguiría la reducción de la demanda de agua potable,

la preservación de los recursos hídricos naturales y, al mismo tiempo, la generación de ingresos adicionales mediante el cobro de tarifas por estos servicios (Morgan, 2023). Entonces, la diversidad de la industria manufacturera en una región justifica la inversión en una planta de tratamiento de agua residual debido a la alta demanda de agua tratada que puede utilizarse en lugar de agua potable, esta dinámica es particularmente relevante en áreas donde el suministro de agua de primer uso es limitado o costoso.

También, la interacción con una variedad de industrias puede ayudar con la generación subproductos útiles a través del tratamiento de agua residual, que pueden ser aprovechados o fabricados por las mismas industrias, promoviendo un modelo sostenible de producción y consumo.

a) Diversidad en la industria

Para el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza es necesario contar con un listado de las industrias manufactureras reportadas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), ubicadas dentro del área de estudio y que cuenten con 51 o más empleados. Posteriormente, se realiza la clasificación de estas industrias de acuerdo con diferentes ramas industriales. Entonces se obtiene un panorama amplio de la diversidad industrial presente en la localidad, así como del potencial de reutilización del agua tratada y el alcance que se podría conseguir si se valorizarán los subproductos generados a partir de los residuos del tratamiento del agua.

Otros servicios municipales preexistentes

a) Lavado y lubricado de automóviles

Los servicios de autolavado se refieren a las actividades unidades económicas, clasificadas como microempresas, dedicadas a la limpieza y mantenimiento exterior e interior de los vehículos. Estas tienen un alto potencial para el reúso de agua tratada porque para llevar a cabo esas actividades es indispensable el uso de agua limpia pero no necesariamente potable (Morgan, 2023).

En un caso reciente, en 2023 el Congreso de la Ciudad de México, por ejemplo, ha exhortado a las autoridades locales a coordinar acciones para realizar inspecciones a los autolavados, con el objetivo de evitar el uso de agua potable en sus actividades. Esta medida cobra sentido dado que estudios indican que un autolavado puede utilizar hasta 500 litros de agua por vehículo, lo que se traduce en un promedio de 12 mil litros de agua al día, situación que se complica por la proliferación de

autolavados derivada, a su vez, del crecimiento del parque vehicular y a la relativamente baja inversión inicial requerida, especialmente en áreas con acceso al agua subterránea (Congreso de la Ciudad de México, 2023).

Entonces, la importancia de considerar los servicios de autolavado en una región para la evaluación sobre un sitio para instalar una PTAR, reside en que generan un significativo impacto ambiental relacionado con el uso excesivo de agua y con la descarga del agua residual sin tratamiento previo. De esta manera la construcción de una planta de tratamiento de agua residual en una región con una alta densidad de servicios de autolavado puede ofrecer soluciones importantes para mitigar estos impactos como, la reutilización de esta agua para fines no potables. La implementación de prácticas de reutilización generaría un apoyo para la economía circular y contribuiría a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

b) Servicios educativos

Los servicios educativos se refieren a unidades económicas dedicadas principalmente a ofrecer enseñanza y capacitación como escuelas, colegios, universidades, academias y centros de entrenamiento o capacitación que son privadas (con o sin fines lucrativos) o públicas. En algunas circunstancias ofrecen servicios de alimentación y alojamiento para sus alumnos. Para este sector, el acceso al agua y al saneamiento es esencial para garantizar un entorno seguro y saludable, sin embargo, en México, un alto porcentaje de escuelas públicas carece de infraestructura básica: el 48% no tiene drenaje, el 31% no cuenta con agua potable y el 13% carece de sanitarios adecuados, en consecuencia, estas deficiencias conllevan a la falta de agua necesaria para las actividades escolares básicas generando la suspensión de clases en múltiples estados (Vázquez, 2020). Ante esta situación, se vuelve prioritaria la búsqueda de iniciativas sostenibles que contribuyan al abastecimiento seguro del agua, por ejemplo, proporcionar agua tratada para usos no potables en las escuelas, como el riego de jardines, la limpieza de áreas comunes y el lavado de sanitarios (Redacción, 2024).

Por tal motivo, adquiere viabilidad la disposición de infraestructura especializada en el tratamiento del agua residual en un área con una alta presencia del sector educativo porque jugaría un papel determinante en el saneamiento del agua gris generada por las escuelas y otras fuentes locales, así como en la reducción de la contaminación y del riesgo de enfermedades relacionadas con la contaminación del líquido, como infecciones gastrointestinales y enfermedades de la piel.

En adición, las instituciones educativas cuentan con la opción de utilizar la PTAR como recurso para la educación ambiental y fomentando la conciencia sobre la

gestión del agua, situación que puede generar un cambio de comportamiento a largo plazo debido a que implanta en los estudiantes una mayor responsabilidad ambiental. Asimismo, la participación de las autoridades educativas puede fortalecer la cohesión social y la cooperación comunitaria lo que a su vez repercutiría en la mejora de la infraestructura hídrica local y del compromiso colectivo con la sostenibilidad y la salud pública.

Sin embargo, aunque la ejecución de la reutilización del agua tratada aporta beneficios al sector educativo, por razones de riesgo sanitario y debido a la posible ingesta accidental de agua tratada, se recomienda excluir de esta práctica a los niveles preescolar y primaria, salvo que estas instituciones tengan un control efectivo sobre el suministro de agua potable.

c) Áreas verdes, campos de golf, centros deportivos, panteones e invernaderos

Considerar las áreas verdes existentes en el área circundante a la ubicación de una planta de tratamiento es un factor decisivo para la demanda y gestión del agua. Tanto los parques públicos, centros recreativos, campos deportivos, jardines escolares, camellones, como las zonas verdes alrededor de edificios públicos, comerciales e industriales requieren un riego constante para su mantenimiento, de este modo, el agua tratada es una opción para aliviar considerablemente la presión sobre los recursos hídricos municipales y permitir la conservación de agua potable para otros usos esenciales.

De forma complementaria, la presencia de grandes áreas verdes podría justificar la capacidad de la planta pues su dimensionamiento debe satisfacer no solo las necesidades actuales sino también futuras expansiones de las zonas verdes.

III. Aplicación de la matriz de decisión para seleccionar un sitio favorable donde disponer una PTAR

3.1. Aplicación de la Matriz Pugh

La implementación de la matriz de decisión de Pugh comprende una serie de pasos lógicos y estructurados orientados a:

1. La identificación y delimitación del problema que habrá de abordarse, para el caso del presente trabajo: la elección de un sitio óptimo para la instalación de una PTAR.
2. La clasificación de los criterios de evaluación que contribuirán a la sostenibilidad y eficiencia de la planta de tratamiento, abarcando diversos aspectos demográficos, sociales y ambientales que incluyen factores como la temperatura, la accesibilidad al sitio, la disponibilidad de terrenos adecuados para la ubicación de la PTAR, la infraestructura hidráulica preexistente y el uso del suelo en cada región.

Adicionalmente, se contemplan criterios que reflejan la situación económica de la localidad, para eficientar el potencial de reúso del agua tratada y la valorización de los recursos. Estos criterios abarcan sectores como las industrias manufactureras, la actividad bancaria, los centros comerciales, las zonas de riego agrícola, la actividad ganadera, los servicios educativos, los establecimientos dedicados al autolavado y algunos otros servicios municipales que demandan gran volumen de agua para el riego de áreas verdes.

De esta manera, la matriz de decisión favorece la identificación de correlaciones entre los criterios sujetos a evaluarse, por ello a cada uno de estos se le asignará un porcentaje de importancia como se muestra en la figura 3.1, permitiendo que aquellos de mayor criticidad ejerzan una influencia más significativa en la decisión final.

La siguiente etapa involucra la evaluación de cada opción en función de cada criterio, la matriz consta de 15 columnas y 33 filas. En la columna A se encuentran los 5 aspectos que se evalúan según el porcentaje de importancia mostrado en la columna C y se dividen en los distintos criterios a evaluar (columna B).



Figura 3.1. Composición y porcentajes de importancia de la matriz de decisión

Nota: Elaboración propia

En las columnas D-I se realiza la ponderación de cada uno de estos criterios utilizando una escala numérica del 1 al 5, donde una puntuación de 5 indica que la opción evaluada es la que tiene la característica que mejor favorecen el cumplimiento del criterio, al contrario, una puntuación de 1 refleja un cumplimiento mínimo, además, los criterios pueden recibir un valor de cero cuando el aspecto evaluado no aplique.

Con las calificaciones designadas, se inicia el cálculo de puntajes ponderados que se reflejan en las columnas J-Ñ, estas evaluaciones se obtienen multiplicando el promedio de las puntuaciones asignadas, de todos los criterios que componen dicho aspecto, por los respectivos porcentajes de importancia posteriormente, se divide entre 5 pues es la calificación máxima, de esta manera, se refleja el desempeño de cada concepto y la influencia que causa en la decisión final, a este procedimiento también se le denomina regla de tres. Figura 3.2.

		Puntuación						Puntuación ponderada					
		Coahuila de Zaragoza	Hermosillo, Sonora	El Mercurio, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Calles, Sonora	Coahuila de Zaragoza	Hermosillo, Sonora	El Mercurio, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Calles, Sonora
Demografía	1												
	2												
	3												

Figura 3.2. Columnas que constituyen la matriz de decisión

Nota: Elaboración propia

Por último, se suman las valoraciones ponderadas de cada opción y la alternativa con el puntaje total más alto se considerará como la elección más adecuada. De este modo, se facilita la comparación de múltiples sitios, permitiendo la toma de decisiones informadas sobre la ubicación óptima para la planta de tratamiento. Es importante recalcar que los porcentajes de importancia asignados a cada aspecto deben ser establecidos mediante un consenso entre los participantes del proceso, teniendo en cuenta la relevancia de cada criterio en las condiciones específicas del proyecto.

3.1.1. Selección de los sitios conforme su potencial de reúso

Para la elección del sitio, se llevó a cabo una investigación inicial utilizando el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) con el fin de identificar las industrias manufactureras (código 31-33) que emplean 51 o más personas, en cada uno de los 2,446 municipios que componen la República Mexicana como se aprecia en la tabla 3.1. Esta limitación en el tamaño del establecimiento se justificó debido a que las industrias de mediana a gran envergadura son las que presentan una mayor demanda de agua y, por ende, las convierte en candidatas ideales para el reúso.

Tabla 3.1. Industrias manufactureras que emplean 51 o más personas en México

Industrias Manufactureras ≥ 51 personas			
Aguascalientes		Morelos	
Aguascalientes	115.00	Ayala	4.00
Calvillo	3.00	Cuautla	12.00
Cosío	1.00	Cuernavaca	17.00
El Llano	3.00	Emiliano Zapata	5.00

Jesús María	80.00	Huitzilac	2.00
Pabellón de Arteaga	3.00	Jiutepec	60.00
Rincón de Romos	3.00	Jojutla	1.00
San Francisco de los Romo	46.00	Temixco	4.00
Tepezalá	1.00	Tepalcingo	1.00
Total	255.00	Tepoztlán	1.00
Baja California		Xochitepec	3.00
Ensenada	88.00	Xoxocotla	1.00
Mexicali	178.00	Yautepec	2.00
Playas de Rosarito	19.00	Yecapixtla	6.00
Tecate	77.00	Zacatepec	1.00
Tijuana	532.00	Total	120.00
Total	894.00	Nayarit	
Baja California Sur		Acaponeta	1.00
Comondú	7.00	Ahuacatlán	1.00
La Paz	6.00	Compostela	1.00
Los Cabos	3.00	Ixtlán del Río	1.00
Mulegé	5.00	San Blas	2.00
Total	21.00	Santiago Ixcuintla	3.00
Campeche		Tepic	19.00
Calkiní	3.00	Tuxpan	1.00
Campeche	15.00	Xalisco	1.00
Carmen	2.00	Total	30.00
Champotón	2.00	Nuevo León	
Escárcega	2.00	Abasolo	1.00
Seybaplaya	1.00	Agualeguas	1.00
Tenabo	1.00	Allende	4.00
Total	26.00	Anáhuac	3.00
Coahuila de Zaragoza		Apodaca	301.00
Acuña	51.00	Cadereyta Jiménez	16.00
Allende	2.00	China	1.00
Arteaga	28.00	Ciénega de Flores	12.00
Castaños	5.00	Doctor Arroyo	1.00
Cuatro Ciénegas	1.00	Doctor González	2.00
Escobedo	1.00	El Carmen	12.00
Francisco I. Madero	4.00	García	61.00
Frontera	29.00	General Escobedo	95.00
Jiménez	1.00	General Terán	1.00
Matamoros	11.00	General Zuazua	44.00
Monclova	31.00	Guadalupe	178.00
Morelos	1.00	Hidalgo	1.00
Múzquiz	2.00	Juárez	18.00
Nava	6.00	Lampazos de Naranjo	2.00
Ocampo	1.00	Linares	12.00
Parras	3.00	Marín	8.00
Piedras Negras	38.00	Montemorelos	12.00
Ramos Arizpe	126.00	Monterrey	211.00
Sabinas	12.00	Pesquería	32.00
Saltillo	118.00	Sabinas Hidalgo	4.00
San Buenaventura	2.00	Salinas Victoria	24.00
San Juan de Sabinas	2.00	San Nicolás de los Garza	126.00
San Pedro	10.00	San Pedro Garza García	20.00
Torreón	121.00	Santa Catarina	171.00
Zaragoza	1.00	Santiago	2.00
Total	607.00	Vallecillo	1.00
		Villaldama	1.00
		Total	1,378.00

Colima		Oaxaca	
Armería	1.00	Acatlán de Pérez Figueroa	1.00
Colima	4.00	Cosolapa	1.00
Comala	1.00	El Barrio de la Soledad	1.00
Cuauhtémoc	1.00	Guadalupe Etla	1.00
Manzanillo	3.00	Loma Bonita	2.00
Tecomán	8.00	Magdalena Apasco	4.00
Villa de Álvarez	2.00	Oaxaca de Juárez	4.00
Total	20.00	Salina Cruz	1.00
Chiapas		San Bartolo Coyotepec	1.00
Acapetahua	2.00	San Jacinto Amilpas	2.00
Angel Albino Corzo	1.00	San Juan Bautista Guelache	1.00
Arriaga	4.00	San Juan Bautista Tuxtepec	7.00
Berriozábal	2.00	San Pablo Etla	1.00
Chiapa de Corzo	4.00	San Sebastián Tutla	1.00
Cintalapa	1.00	Santa Ana Tlapacoyan	1.00
Comitán de Domínguez	4.00	Santa Cruz Xoxocotlán	1.00
Huixtla	2.00	Santa Lucía del Camino	1.00
La Concordia	1.00	Santa María del Tule	3.00
Motozintla	1.00	Santo Domingo Tehuantepec	1.00
Ocosingo	1.00	Tlacolula de Matamoros	1.00
Ocozacoautla de Espinosa	4.00	Tlalixtac de Cabrera	2.00
Ostuacán	1.00	Villa de Chilapa de Díaz	1.00
Palenque	4.00	Villa de Tamazulápam del Progreso	1.00
San Cristóbal de las Casas	2.00	Total	40.00
Tapachula	7.00	Puebla	
Tonalá	1.00	Acajete	2.00
Tuxtla Gutiérrez	13.00	Acatzingo	1.00
Unión Juárez	1.00	Ajalpan	7.00
Venustiano Carranza	1.00	Altepexi	1.00
Villa Comaltitlán	1.00	Amozoc	27.00
Villaflores	3.00	Atempan	1.00
Total	61.00	Atlixco	7.00
Chihuahua		Chalchicomula de Sesma	2.00
Ahumada	1.00	Chapulco	1.00
Allende	1.00	Chietla	1.00
Aquiles Serdán	3.00	Chignahuapan	1.00
Ascensión	2.00	Chignautla	2.00
Batopilas	2.00	Coronango	9.00
Buenaventura	2.00	Coxcatlán	1.00
Camargo	6.00	Cuapixtla de Madero	3.00
Chihuahua	158.00	Cuautlancingo	66.00
Cuauhtémoc	28.00	Huejotzingo	37.00
Delicias	22.00	Hueytamalco	1.00
Gómez Farías	1.00	Izúcar de Matamoros	1.00
Guachochi	1.00	Juan C. Bonilla	3.00
Guerrero	1.00	Nopalucan	3.00
Hidalgo del Parral	8.00	Ocoyucan	1.00
Ignacio Zaragoza	1.00	Palmar de Bravo	2.00
Jiménez	2.00	Puebla	189.00
Juárez	403.00	Quecholac	1.00
Madera	3.00	Rafael Lara Grajales	2.00
Matachí	2.00	San Andrés Cholula	20.00
Matamoros	1.00	San Gabriel Chilac	1.00
Meoqui	8.00	San Gregorio Atzompa	8.00
Namiquipa	2.00	San José Chiapa	3.00
Nuevo Casas Grandes	7.00	San Martín Texmelucan	9.00
		San Miguel Xoxtla	4.00

Ojinaga	6.00	San Pedro Cholula	21.00
Praxedis G. Guerrero	2.00	San Salvador el Verde	2.00
Riva Palacio	1.00	Santa Isabel Cholula	1.00
Saucillo	1.00	Santiago Miahuatlán	9.00
Total	675.00	Tecali de Herrera	4.00
CDMX			
Álvaro Obregón	58.00	Tecamachalco	2.00
Azcapotzalco	143.00	Tehuacán	45.00
Benito Juárez	72.00	Tepanco de López	4.00
Coyoacán	45.00	Tepeaca	1.00
Cuajimalpa de Morelos	24.00	Tepeyahualco	1.00
Cuauhtémoc	103.00	Tepeyahualco de Cuauhtémoc	1.00
Gustavo A. Madero	83.00	Teziutlán	30.00
Iztacalco	108.00	Tlacotepec de Benito Juárez	1.00
Iztapalapa	230.00	Tlahuapan	1.00
La Magdalena Contreras	7.00	Tlatlauquitepec	2.00
Miguel Hidalgo	115.00	Tochtepec	1.00
Milpa Alta	3.00	Xicotepec	1.00
Tláhuac	28.00	Xiutetelco	1.00
Tlalpan	36.00	Xochiapulco	1.00
Venustiano Carranza	28.00	Zacatlán	1.00
Xochimilco	17.00	Total	547.00
Total	1,100.00	Querétaro	
Durango			
Canatlán	1.00	Amealco de Bonfil	1.00
Cuencamé	1.00	Cadereyta de Montes	4.00
Durango	51.00	Colón	17.00
Gómez Palacio	104.00	Corregidora	26.00
Guadalupe Victoria	2.00	El Marqués	185.00
Lerdo	7.00	Ezequiel Montes	11.00
Mapimí	1.00	Huimilpan	7.00
Nombre de Dios	1.00	Pedro Escobedo	8.00
Nuevo Ideal	3.00	Querétaro	242.00
Pueblo Nuevo	7.00	San Juan del Río	84.00
Santiago Papasquiaro	5.00	Tequisquiapan	4.00
Tepehuanes	1.00	Total	589.00
Tlahualilo	3.00	Quintana Roo	
Vicente Guerrero	1.00	Benito Juárez	18.00
Total	188.00	Cozumel	2.00
Guanajuato			
Abasolo	7.00	Othón P. Blanco	3.00
Acámbaro	3.00	Puerto Morelos	2.00
Apaseo el Alto	5.00	Solidaridad	6.00
Apaseo el Grande	37.00	Total	31.00
Celaya	100.00	San Luis Potosí	
Comonfort	3.00	Cárdenas	1.00
Coroneo	1.00	Cerritos	1.00
Cortázar	8.00	Cerro de San Pedro	1.00
Cuerámaro	2.00	Charcas	1.00
Doctor Mora	1.00	Ciudad Fernández	1.00
Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia	6.00	Ciudad Valles	5.00
Guanajuato	3.00	Ébano	1.00
Irapuato	130.00	El Naranjo	1.00
Jaral del Progreso	1.00	Huehuetlán	1.00
León	418.00	Matehuala	18.00
Manuel Doblado	4.00	Mexquitic de Carmona	7.00
		Moctezuma	1.00
		Rioverde	4.00
		Salinas	3.00

Moroleón	1.00	San Luis Potosí	281.00
Ocampo	2.00	Soledad de Graciano Sánchez	19.00
Pénjamo	14.00	Tamasopo	1.00
Purísima del Rincón	37.00	Tamuín	3.00
Romita	2.00	Venado	1.00
Salamanca	24.00	Villa de Reyes	42.00
Salvatierra	3.00	Zaragoza	1.00
San Diego de la Unión	1.00	Total	394.00
San Felipe	3.00	Sinaloa	
San Francisco del Rincón	36.00	Ahome	31.00
San José Iturbide	36.00	Angostura	1.00
San Luis de la Paz	2.00	Concordia	1.00
San Miguel de Allende	16.00	Culiacán	65.00
Santa Catarina	1.00	El Fuerte	3.00
Santa Cruz de Juventino Rosas	4.00	Elota	1.00
Silao de la Victoria	113.00	Escuinapa	2.00
Uriangato	4.00	Guasave	8.00
Valle de Santiago	6.00	Mazatlán	27.00
Villagrán	12.00	Navolato	8.00
Yuriria	2.00	Rosario	4.00
Total	1,048.00	Salvador Alvarado	4.00
Guerrero		Sinaloa	1.00
Acapulco de Juárez	7.00	Total	156.00
Atoyac de Álvarez	1.00	Sonora	
Buenavista de Cuéllar	2.00	Agua Prieta	15.00
Iguala de la Independencia	2.00	Bácum	2.00
Teloloapan	1.00	Caborca	1.00
Zihuatanejo de Azueta	1.00	Cajeme	44.00
Total	14.00	Cananea	4.00
Hidalgo		Cumpas	2.00
Acaxochitlán	1.00	Empalme	21.00
Actopan	3.00	Etchojoa	1.00
Ajacuba	1.00	Guaymas	32.00
Alfajayucan	1.00	Hermosillo	101.00
Apan	2.00	Huatabampo	1.00
Atitalaquia	11.00	Imuris	1.00
Atotonilco de Tula	5.00	Magdalena	3.00
Atotonilco el Grande	1.00	Naco	1.00
Emiliano Zapata	2.00	Nacozari de García	7.00
Huejutla de Reyes	2.00	Navojoa	17.00
Huichapan	5.00	Nogales	106.00
Mineral de la Reforma	19.00	Pitiquito	1.00
Mixquiahuala de Juárez	2.00	Puerto Peñasco	2.00
Nopala de Villagrán	1.00	San Luis Río Colorado	19.00
Pachuca de Soto	14.00	Santa Ana	3.00
Progreso de Obregón	2.00	Total	384.00
San Agustín Tlaxiaca	3.00	Tabasco	
Santiago de Anaya	2.00	Cárdenas	9.00
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	2.00	Centro	19.00
Singuilucan	2.00	Comalcalco	1.00
Tepeapulco	17.00	Huimanguillo	2.00
Tepeji del Río de Ocampo	25.00	Jalapa	1.00
Tizayuca	48.00	Macuspana	2.00
Tlahuelilpan	1.00	Paraíso	1.00
Tlanalapa	2.00	Tacotalpa	2.00
Tlaxcoapan	1.00	Teapa	2.00
Tolcayuca	4.00		

Tula de Allende	2.00	Total	39.00
Tulancingo de Bravo	10.00	Tamaulipas	
Villa de Tezontepec	2.00	Abasolo	1.00
Zacualtipán de Angeles	10.00	Altamira	39.00
Zempoala	1.00	Ciudad Madero	4.00
Zimapán	1.00	El Mante	1.00
Total	205.00	Gómez Farías	1.00
Jalisco		González	2.00
Acatic	1.00	Gustavo Díaz Ordaz	3.00
Acatlán de Juárez	10.00	Jaumave	2.00
Amatitán	1.00	Matamoros	131.00
Ameca	3.00	Nuevo Laredo	46.00
Arandas	25.00	Reynosa	180.00
Atotonilco el Alto	7.00	Río Bravo	6.00
Autlán de Navarro	3.00	San Fernando	3.00
Ayotlán	3.00	Tampico	16.00
Casimiro Castillo	1.00	Valle Hermoso	5.00
Chapala	3.00	Victoria	8.00
Cocula	2.00	Xicoténcatl	1.00
El Arenal	2.00	Total	449.00
El Salto	68.00	Tlaxcala	
Encarnación de Díaz	3.00	Apetatitlán de Antonio Carvajal	2.00
Etzatlán	1.00	Apizaco	7.00
Gómez Farías	2.00	Atlangatepec	1.00
Guadalajara	285.00	Atlixayanca	2.00
Ixtlahuacán de los Membrillos	5.00	Calpulalpan	4.00
Jalostotitlán	2.00	Chiautempan	6.00
Jamay	1.00	Contla de Juan Cuamatzi	3.00
Jesús María	4.00	Cuapixtla	2.00
Jocotepec	1.00	El Carmen Tequexquitla	1.00
Juanacatlán	2.00	Huamantla	13.00
La Barca	3.00	Hueyotlipan	2.00
Lagos de Moreno	42.00	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	2.00
Mexxicacán	1.00	La Magdalena Tlaltelulco	2.00
Ocotlán	16.00	Nanacamilpa de Mariano Arista	2.00
Ojuelos de Jalisco	1.00	Nativitas	1.00
Poncitlán	15.00	Papalotla de Xicohténcatl	18.00
Puerto Vallarta	5.00	San Pablo del Monte	1.00
San Diego de Alejandría	1.00	Santa Cruz Quilehtla	2.00
San Gabriel	2.00	Santa Isabel Xiloxotla	9.00
San Ignacio Cerro Gordo	3.00	Teolocholco	7.00
San Juan de los Lagos	7.00	Tepetitla de Lardizábal	2.00
San Julián	1.00	Tetla de la Solidaridad	20.00
San Martín Hidalgo	1.00	Tetlatlahuca	1.00
San Miguel el Alto	9.00	Tlaxcala	5.00
San Pedro Tlaquepaque	109.00	Tlaxco	9.00
Sayula	1.00	Tzompantepec	3.00
Tala	8.00	Xaloztoc	4.00
Tecolotlán	2.00	Xicohtzinco	6.00
Teocaltiche	1.00	Yauhquemehcan	2.00
Tepatitlán de Morelos	39.00	Zacatelco	1.00
Tequila	10.00	Ziltlaltépec de Trinidad Sánchez Santos	1.00
Tlajomulco de Zúñiga	103.00	Total	141.00
Tonalá	15.00	Veracruz	
Tonaya	3.00	Acayucan	2.00
Tototlán	3.00	Álamo Temapache	2.00
Tuxpan	2.00		
Unión de San Antonio	3.00		

Valle de Guadalupe	1.00	Altotonga	1.00
Villa Corona	1.00	Amatlán de los Reyes	6.00
Zacoalco de Torres	1.00	Apazapan	1.00
Zapopan	266.00	Atoyac	1.00
Zapotiltic	3.00	Banderilla	1.00
Zapotlán del Rey	1.00	Boca del Río	4.00
Zapotlán el Grande	10.00	Carlos A. Carrillo	1.00
Zapotlanejo	6.00	Chinameca	3.00
Total	1,130.00	Coatepec	12.00
Edo. México			
Acambay de Ruíz Castañeda	2.00	Coatzacoalcos	20.00
Acolman	5.00	Comapa	1.00
Aculco	3.00	Córdoba	18.00
Almoleya de Juárez	2.00	Cosamaloapan de Carpio	3.00
Apaxco	8.00	Cosoleacaque	4.00
Atenco	2.00	Cotaxtla	1.00
Atizapán de Zaragoza	54.00	Cuichapa	2.00
Atlacomulco	25.00	Cuitláhuac	5.00
Axapusco	1.00	El Higo	1.00
Capulhuac	4.00	Emiliano Zapata	3.00
Chalco	20.00	Fortín	3.00
Chapa de Mota	2.00	Hueyapan de Ocampo	1.00
Chiautla	2.00	Huiloapan de Cuauhtémoc	4.00
Chicoloapan	2.00	Isla	3.00
Chimalhuacán	3.00	Ixhuatlán del Sureste	1.00
Coacalco de Berriozábal	4.00	Ixtaczoquitlán	14.00
Cuautilán	25.00	Jalacingo	6.00
Cuautilán Izcalli	145.00	Jáltipan	1.00
Ecatepec de Morelos	149.00	José Azueta	1.00
Huehuetoca	19.00	La Antigua	1.00
Hueypoxtla	1.00	Las Vigas de Ramírez	2.00
Huixquilucan	6.00	Lerdo de Tejada	1.00
Ixtapaluca	21.00	Manlio Fabio Altamirano	1.00
Ixtlahuaca	7.00	Martínez de la Torre	2.00
Jilotepec	13.00	Medellín	1.00
Jocotitlán	7.00	Minatitlán	7.00
La Paz	30.00	Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río	1.00
Lerma	126.00	Naolinco	1.00
Melchor Ocampo	1.00	Nogales	1.00
Metepec	5.00	Orizaba	13.00
Morelos	1.00	Pánuco	5.00
Naucalpan de Juárez	197.00	Papantla	2.00
Nezahualcóyotl	15.00	Paso del Macho	1.00
Nicolás Romero	6.00	Perote	4.00
Ocoyoacac	16.00	Poza Rica de Hidalgo	4.00
Otzolotepec	1.00	Pueblo Viejo	1.00
Ozumba	1.00	San Andrés Tuxtla	5.00
Polotitlán	4.00	San Rafael	1.00
Rayón	3.00	Tezonapa	3.00
San Antonio la Isla	2.00	Tierra Blanca	2.00
San Felipe del Progreso	1.00	Tlaltetela	1.00
San Martín de las Pirámides	1.00	Tres Valles	3.00
San Mateo Atenco	18.00	Tuxpan	1.00
Soyaniquilpan de Juárez	2.00	Ursulo Galván	1.00
Tecámac	17.00	Veracruz	42.00
Temascalcingo	2.00	Xalapa	6.00
Temoaya	2.00	Total	239.00
Tenancingo	1.00	Yucatán	
		Acanceh	1.00

Tenango del Valle	3.00	Akil	1.00
Teoloyucan	4.00	Baca	3.00
Teotihuacán	3.00	Conkal	2.00
Tepetzotlán	36.00	Dzemul	1.00
Tequixquiac	2.00	Halachó	1.00
Texcoco	14.00	Hunucmá	3.00
Tezoyuca	4.00	Ixil	1.00
Tianguistenco	16.00	Izamal	1.00
Timilpan	2.00	Kanasín	12.00
Tlalnepantla de Baz	213.00	Maxcanú	2.00
Toluca	164.00	Mérida	107.00
Tultepec	4.00	Motul	1.00
Tultitlán	89.00	Progreso	1.00
Valle de Chalco Solidaridad	2.00	Río Lagartos	1.00
Villa Victoria	2.00	Seyé	1.00
Xalatlaco	1.00	Tecoh	4.00
Zinacantepec	6.00	Tekax	1.00
Zumpango	4.00	Temax	1.00
Total	1,553.00	Temozón	1.00
Michoacán de Ocampo		Tixkokob	1.00
Apatzingán	4.00	Tixpéhual	1.00
Briseñas	1.00	Tizimín	3.00
Charo	1.00	Umán	28.00
Chavinda	1.00	Valladolid	4.00
Cotija	1.00	Total	183.00
Cuitzeo	1.00	Zacatecas	
Ecuandureo	1.00	Calera	8.00
Hidalgo	1.00	Fresnillo	19.00
Jacona	19.00	General Enrique Estrada	1.00
Jiménez	1.00	Guadalupe	6.00
Jiquilpan	4.00	Jerez	3.00
La Piedad	8.00	Loreto	1.00
Lázaro Cárdenas	3.00	Miguel Auza	3.00
Marcos Castellanos	2.00	Morelos	8.00
Morelia	59.00	Ojocaliente	1.00
Nuevo Parangaricutiro	1.00	Río Grande	4.00
Numarán	1.00	Sombrerete	1.00
Paracho	1.00	Tabasco	2.00
Peribán	1.00	Villa García	1.00
Purépero	4.00	Zacatecas	2.00
Sahuayo	1.00	Total	60.00
Tacámbaro	1.00		
Taretan	1.00		
Tarímbaro	8.00		
Tingüindín	2.00		
Tocumbo	1.00		
Uruapan	20.00		
Venustiano Carranza	1.00		
Villamar	1.00		
Vista Hermosa	1.00		
Zacapu	5.00		
Zamora	18.00		
Zitácuaro	4.00		
Total	179.00		

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

En segundo lugar, se eligieron los municipios que reportaron la presencia de 100 o más industrias manufactureras, la selección de esa actividad económica, en un primer filtro que se aprecia en la tabla 3.2, obedece al consumo significativo de agua en procesos de manufactura o en el mantenimiento de las instalaciones, además, de ser un sólido indicador del desarrollo económico que presenta la región. En consecuencia, se considera un punto crítico y valioso para la reutilización del agua tratada, particularmente en las etapas de producción en las que no es necesaria el agua potable.

Tabla 3.2. Municipios con 100 o más industrias

Municipios con 100 o más industrias	
Aguascalientes	
Aguascalientes	115.00
Baja California	
Mexicali	178.00
Tijuana	532.00
Coahuila de Zaragoza	
Ramos Arizpe	126.00
Saltillo	118.00
Torreón	121.00
Chihuahua	
Chihuahua	158.00
Juárez	403.00
CDMX	
Azcapotzalco	143.00
Cuauhtémoc	103.00
Iztacalco	108.00
Iztapalapa	230.00
Miguel Hidalgo	115.00
Durango	
Gómez Palacio	104.00
Guanajuato	
Celaya	100.00
Irapuato	130.00
León	418.00
Silao de la Victoria	113.00
Jalisco	
Guadalajara	285.00
San Pedro Tlaquepaque	109.00
Tlajomulco de Zúñiga	103.00
Zapopan	266.00
Edo. México	
Cuautitlán Izcalli	145.00
Ecatepec de Morelos	149.00
Lerma	126.00
Naucalpan de Juárez	197.00
Tlalnepantla de Baz	213.00
Toluca	164.00
Nuevo León	
Apodaca	301.00
Guadalupe	178.00
Monterrey	211.00
San Nicolás de los Garza	126.00
Santa Catarina	171.00

Puebla	
Puebla	189.00
Querétaro	
El Marqués	185.00
Querétaro	242.00
San Luis Potosí	
San Luis Potosí	281.00
Sonora	
Hermosillo	101.00
Nogales	106.00
Tamaulipas	
Matamoros	131.00
Reynosa	180.00
Yucatán	
Mérida	107.00

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

En tercer lugar, a través del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), se investigó los municipios previamente categorizados la extensión de terreno destinada a la agricultura, por el gran potencial de reutilización del agua tratada en la irrigación agrícola, así como el número de cabezas de cerdos, guajolotes y aves de corral destinados a la producción de carne y, en su caso, huevos, según los registros correspondientes al año 2021, estos últimos se sumaron en la tabla 3.3 para obtener una visión completa de la cantidad total de ganado disponible en el municipio, ya que la ganadería es una de las actividades económicas con mayor demanda de agua.

En México, tan solo el 76% del total del agua concesionada se destina a los sectores agrícola, ganadero y acuícola por lo que es importante contemplar la posible aplicación futura del agua tratada en actividades como el riego agrícola, la limpieza de instalaciones ganaderas o la producción de forraje.

Asimismo, dado que la ganadería requiere importantes recursos naturales, como tierra y agua, comprender esta actividad local permite estimar la demanda de agua que conlleva su implementación lo cual resulta fundamental para garantizar un suministro sostenible de agua y un funcionamiento eficaz de la planta.

Por otra parte, la ganadería constituye una parte fundamental de la economía mexicana, siendo un pilar del sector primario que contribuye significativamente al crecimiento económico del país debido a su capacidad en la generación de empleos, su gran aportación al producto interno bruto (PIB) de diversas regiones y el impulso que brinda a otros sectores económicos, como el transporte, la industria de alimentos y la infraestructura relacionada con la producción y comercialización de productos ganaderos.

Tabla 3.3. Industrias manufactureras, superficie agrícola y ganadería

Municipio	Industrias Manufactureras ≥ 51 personas	Superficie agrícola sembrada [Ha]	Número de cabezas de puerco para carne	Número de cabezas de aves y guajolotes para carne y huevo
Aguascalientes	115.00	6,013.00	9,204.00	78,914,887.00
Mexicali	178.00	78,952.86	6,262.00	0.00
Tijuana	532.00	0.00	2,295.00	65,757.00
Ramos Arizpe	126.00	1,541.00	8,176.00	829,933.00
Saltillo	118.00	0.00	2,947.00	342,255.00
Torreón	121.00	2,424.50	307.00	923,755.00
Chihuahua	158.00	10,640.23	4,007.00	1,328,161.00
Juárez	403.00	1,595.03	4,177.00	0.00
Azcapotzalco	143.00	0.00	0.00	0.00
Cuauhtémoc	103.00	0.00	0.00	0.00
Iztacalco	108.00	0.00	0.00	0.00
Iztapalapa	230.00	0.00	0.00	0.00
Miguel Hidalgo	115.00	0.00	0.00	0.00
Gómez Palacio	104.00	32,648.80	2,571.00	44,734,486.00
Celaya	100.00	6,656.00	45,462.00	6,019,667.00
Irapuato	130.00	34,069.00	93,261.00	451,583.00
León	418.00	6,342.50	28,075.00	570,418.00
Silao de la Victoria	113.00	7,235.00	12,172.00	390,791.00
Guadalajara	285.00	0.00	0.00	0.00
San Pedro Tlaquepaque	109.00	876.50	29,720.00	449,693.00
Tlajomulco de Zúñiga	103.00	791.50	86,105.00	1,840,160.00
Zapopan	266.00	113.00	117,917.00	1,596,195.00
Cuautitlán Izcalli	145.00	344.65	1,887.00	684,124.00
Ecatepec de Morelos	149.00	10.91	1,259.00	2,068.00
Lerma	126.00	413.40	3,542.00	40,274.00
Naucalpan de Juárez	197.00	51.20	830.00	23,054.00
Tlalnepantla de Baz	213.00	0.00	732.00	0.00
Toluca	164.00	3,368.60	3,521.00	65,592.00
Apodaca	301.00	7.00	20,369.00	0.00
Guadalupe	178.00	0.00	0.00	0.00
Monterrey	211.00	0.00	0.00	0.00
San Nicolás de los Garza	126.00	0.00	0.00	0.00
Santa Catarina	171.00	0.00	0.00	0.00
Puebla	189.00	250.00	9,082.00	321,443.00
El Marqués	185.00	10,539.50	62,136.00	19,919,641.00
Querétaro	242.00	1,456.40	82,473.00	3,841,414.00
San Luis Potosí	281.00	3,067.00	4,950.00	15,366,067.00
Hermosillo	101.00	22,348.00	866,604.00	26,770,725.00
Nogales	106.00	199.00	0.00	0.00
Matamoros	131.00	52,240.00	1,648.00	0.00
Reynosa	180.00	22,499.80	15,400.00	4,108.00
Mérida	107.00	27.30	128,774.00	236,939.00

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2023).

Finalmente, se procedió a ordenar los municipios en función de las características previamente mencionadas, clasificándolos de mayor a menor relevancia en cada caso como se ve en la tabla 3.4. Una vez realizada esta jerarquización, se dio prioridad a aquellos territorios que destacaban por una considerable cantidad de cabezas de ganado y una extensa superficie agrícola.

Tabla 3.4. Clasificación jerarquizada

Industrias Manufactureras \geq 51 personas		Superficie Agrícola Sembrada [Ha]		Número de cabezas de puerco, gallinas y guajolotes para carne o huevo	
León	418	Mexicali	78,952.86	Aguascalientes	78,924,091
Juárez	403	Matamoros	52,240.00	Gómez Palacio	44,737,057
San Luis Potosí	281	Irapuato	34,069.00	Hermosillo	27,637,329
Querétaro	242	Gómez Palacio	32,648.80	El Marqués	19,981,777
El Marqués	185	Reynosa	22,499.80	San Luis Potosí	15,371,017
Reynosa	180	Hermosillo	22,348.00	Celaya	6,065,129
Mexicali	178	Chihuahua	10,640.23	Querétaro	3,923,887
Toluca	164	El Marqués	10,539.50	Chihuahua	1,332,168
Chihuahua	158	Silao de La Victoria	7,235.00	Torreón	924,062
Matamoros	131	Celaya	6,656.00	Ramos Arizpe	838,109
Irapuato	130	León	6,342.50	León	598,493
Ramos Arizpe	126	Aguascalientes	6,013.00	Irapuato	544,844
Torreón	121	Toluca	3,368.60	Silao de La Victoria	402,963
Aguascalientes	115	San Luis Potosí	3,067.00	Toluca	69,113
Silao de la Victoria	113	Torreón	2,424.50	Reynosa	19,508
Gómez Palacio	104	Juárez	1,595.03	Mexicali	6,262
Hermosillo	101	Ramos Arizpe	1,541.00	Juárez	4,177
Celaya	100	Querétaro	1,456.40	Matamoros	1,648

Nota: Elaboración propia con datos recabados de:

- INEGI (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2023)

3.1.2. Resultados de los sitios a evaluar

Los resultados consideran las industrias manufactureras previamente seleccionadas conforme a un criterio que permitió identificar una alta actividad industrial (municipios con más de 100 establecimientos), así como la clasificación de regiones que, además, cumplieran con otros sectores económicos con un alto potencial de reutilización del agua.

De esta manera, conforme al análisis se identificó que los municipios adecuados para la ubicación de la planta de tratamiento serían:

1. Gómez Palacio, Durango
2. Hermosillo, Sonora
3. El Marqués, Querétaro
4. Chihuahua, Chihuahua
5. Aguascalientes, Aguascalientes
6. Celaya, Guanajuato

3.2. Ponderación de los criterios considerados en la matriz de decisión

3.2.1. Demografía y aspectos sociales

Se asignó un 7% de importancia al criterio de demografía y un 8% a los aspectos sociales debido a la influencia que tienen en la planificación y ejecución del proyecto de construcción de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Ambos factores proporcionan información relevante para calcular el impacto colectivo y el apoyo comunitario que potencialmente se recibiría tras la implementación del proyecto. Además, son factores relevantes en la determinación del tamaño y la capacidad de la PTAR, mediante la proyección de las demandas futuras de agua, puesto que prevé las expansiones poblacionales con el fin de evitar la obsolescencia prematura de la infraestructura.

Población (Número de habitantes)

El criterio de población se evaluó con una alta puntuación en áreas con **mayor** número de residentes, cuya condición implica un aumento en la generación del agua residual y, a la vez, subraya la necesidad de una planta de tratamiento eficiente para satisfacer la demanda de agua limpia, saneamiento, así como preservación de la salud pública y el medio ambiente. A continuación, la figura 3.3 muestra una comparativa del número de habitantes que registraban los municipios en 2020 (SE, 2020), con esta información se procedió a realizar la ponderación de este aspecto.

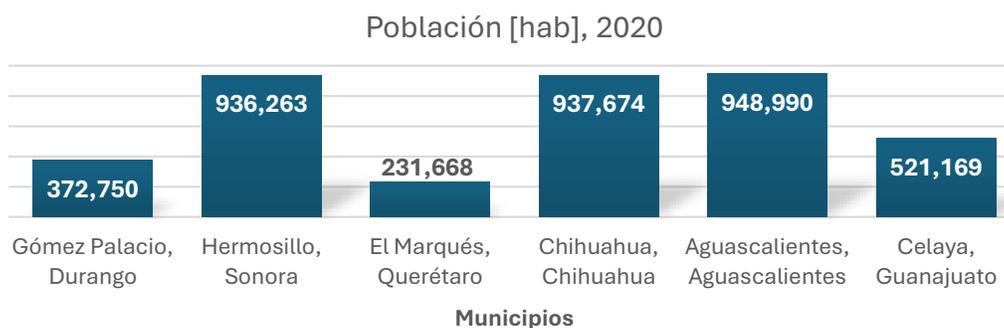


Figura 3.3. Población 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: SE. (2020). DATAMÉXICO. Secretaría de Economía (SE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/>

En este caso, la puntuación más alta se asignó a los municipios de Aguascalientes, Chihuahua y Hermosillo al contar con el mayor número de habitantes; en cambio,

Celaya con, aproximadamente, la mitad de la población de Aguascalientes se evaluó en un punto intermedio, mientras los municipios de Gómez Palacio y El Marqués con poblaciones más bajas recibieron puntuaciones de uno, como se aprecia en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de población

Nota: Elaboración propia

Densidad de población

Se otorga una valoración positiva a los sitios con alta densidad poblacional porque esas áreas tienden a experimentar hacinamiento que se correlaciona con el incremento de la demanda de agua para satisfacer las necesidades humanas, agrícolas e industriales, por tal motivo es ineludible contar con una fuente adecuada a fin de cubrir estas demandas.



Figura 3.5. Densidad de población 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2021). Panorama sociodemográfico de México: Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/>

En la figura 3.5 se resumen las densidades poblacionales que poseían los municipios previamente seleccionados para evaluación. Como se aprecia a continuación la mayor ponderación fue asignada a Celaya y Aguascalientes por tener la mayor densidad de población, toda vez que la de Gómez Palacio es aproximadamente la mitad (INEGI, 2020). Por su parte El Marqués y Hermosillo recibieron una puntuación de 2 y 1, respectivamente, como se ilustra en la figura 3.6.



Figura 3.6. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de densidad poblacional

Nota: Elaboración propia

Tasa de crecimiento

Este indicador refleja el incremento en las demandas de infraestructura, recursos, servicios y empleo que la población necesitará al observarse una tendencia ascendente. De acuerdo con lo anterior, la implementación del proyecto PTAR adquiere mayor pertinencia porque contribuye a satisfacer necesidades hídricas y laborales. En consecuencia, se otorgará una calificación favorable y elevada a medida que aumente la tasa de crecimiento. En la gráfica 3.7 se presentan las tasas de crecimiento que reportó el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI.

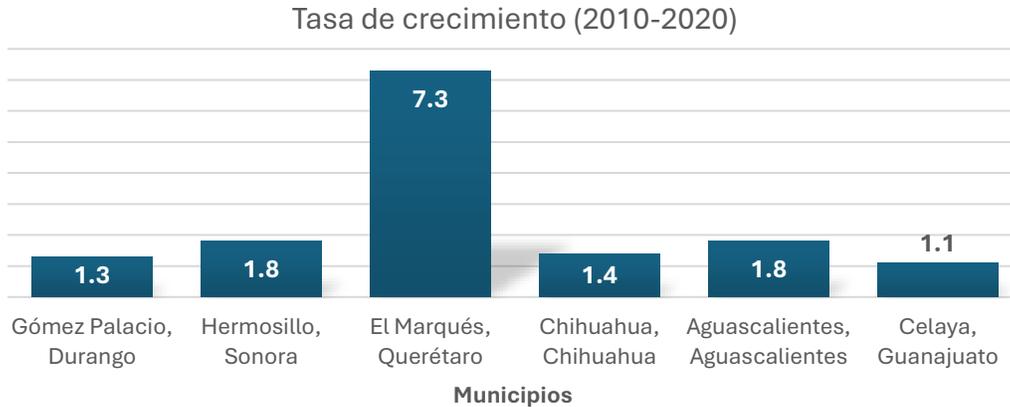


Figura 3.7. Tasa de crecimiento media anual (2010 - 2020)

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#publicaciones>

En la evaluación del criterio de tasa de crecimiento poblacional se asignó la calificación más alta al municipio de El Marqués, que presenta una tasa de crecimiento del 7.3%, un caso extraordinario ya que al analizar la tendencia de los demás municipios se observa un porcentaje de crecimiento de entre el 1% y el 2%, lo cual sugiere que El Marqués ha experimentado una rápida expansión poblacional y, a su vez, evidencia la necesidad de instalar varios servicios e infraestructuras nuevas. Los cinco municipios restantes recibieron una puntuación de 1 porque su tasa de crecimiento es significativamente menor a la de El Marqués como se ilustra en la figura 3.8.



Figura 3.8. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de tasa de crecimiento

Nota: Elaboración propia

Grado promedio de escolaridad

Un elevado nivel educativo ejerce una influencia positiva en la comunicación, aceptación, colaboración y capacidad de la comunidad para adherirse a los requisitos y normativas vinculadas al proyecto; desde esta perspectiva, aumenta la probabilidad de una mayor recepción de las campañas y de que la comunidad implemente prácticas y medidas que ayuden a abordar el desafío de la gestión adecuada del agua. De acuerdo con ello, se otorgará una valoración elevada a los lugares que tengan un alto grado promedio de escolaridad.



Figura 3.9. Grado promedio de escolaridad 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#publicaciones>

De acuerdo con la figura 3.9, Chihuahua y Hermosillo registran los grados más altos de escolaridad en consecuencia se les asignará la puntuación máxima de 5 puntos. Aguascalientes y El Marqués, con un grado ligeramente menor, recibirán una calificación de 3, mientras que tanto Celaya como Gómez Palacio, al tener el mismo grado promedio de escolaridad, que por cierto es el más bajo, recibirán una calificación de 1 punto. Esta diferencia se establece ya que su grado promedio es 1.3 puntos menor en comparación con el más alto, que es 11.4 en Chihuahua, como se observa en la figura 3.10.



Figura 3.10. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de grado promedio de escolaridad

Nota: Elaboración propia

Hogares con conexión a internet

Si bien un alto porcentaje de hogares con acceso a Internet señala la idoneidad de un sitio para ejecutar el proyecto, la ausencia de este servicio compromete la implementación de sistemas de monitoreo y control remoto y, por consiguiente, dificulta la supervisión y gestión del proyecto en tiempo real, lo cual, también, puede provocar un funcionamiento deficiente, caracterizado por la liberación de efluentes contaminados. Por su parte, en lo social, el hecho puede afectar la participación comunitaria, entendida como la capacidad de los residentes para involucrarse en la toma de decisiones y expresar sus preocupaciones. De acuerdo con lo anterior, la figura 3.11 contrasta el indicador en los seis municipios seleccionados.



Figura 3.11. Hogares con conexión a internet 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2021). Panorama sociodemográfico de México: Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/>

La evaluación revela que Gómez Palacio, debido a su bajo porcentaje de cobertura de internet, recibirá la calificación más baja. Los municipios de El Marqués y Celaya, con porcentajes superiores al 57.5%, obtuvieron puntuaciones de 4 y 3, respectivamente y, por último, los tres municipios restantes, Hermosillo, Chihuahua y Aguascalientes, alcanzaron la calificación máxima de 5. Figura 3.12



Figura 3.12. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de hogares con conexión a Internet

Nota: Elaboración propia

Viviendas particulares habitadas con agua entubada

Si se informa de un elevado número de hogares con agua entubada, se considerará un indicio de que el lugar es idóneo para la ejecución del proyecto, ya que denota la existencia de la infraestructura necesaria para transportar el agua tratada a lugares con potencial de reúso significativo asimismo, manifiesta un suministro continuo de agua para llevar a cabo procesos de tratamiento efectivos y sugiere un nivel de capacidad técnica favorable para la implementación y mantenimiento de la planta a largo plazo. En contraste, la ausencia de infraestructura para agua entubada podría indicar una falta de apoyo gubernamental y comunitario, dificultando la implementación y sostenibilidad del proyecto. Por estas razones, la limitada existencia de viviendas con acceso a agua entubada resultará en una evaluación negativa. A continuación, se presenta la figura 3.13, en la cual se muestran los porcentajes de viviendas particulares con acceso a agua entubada de cada municipio, según los datos reportados por el INEGI en 2020.

Viviendas particulares habitadas con agua entubada (%),
2020



Figura 3.13. Viviendas particulares con agua entubada 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2021). Panorama sociodemográfico de México: Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/>

Aguascalientes, Chihuahua y Hermosillo, al contar con más del 95% de viviendas con acceso a agua entubada, recibirán 5 puntos, por su parte, Celaya que presenta un porcentaje ligeramente inferior al de los primeros municipios, será evaluada con 4 puntos. En cuanto a Gómez Palacio obtendrá una calificación intermedia y, por último, El Marqués recibirá una puntuación de 1, siendo el municipio con la menor cobertura de este servicio. Figura 3.14

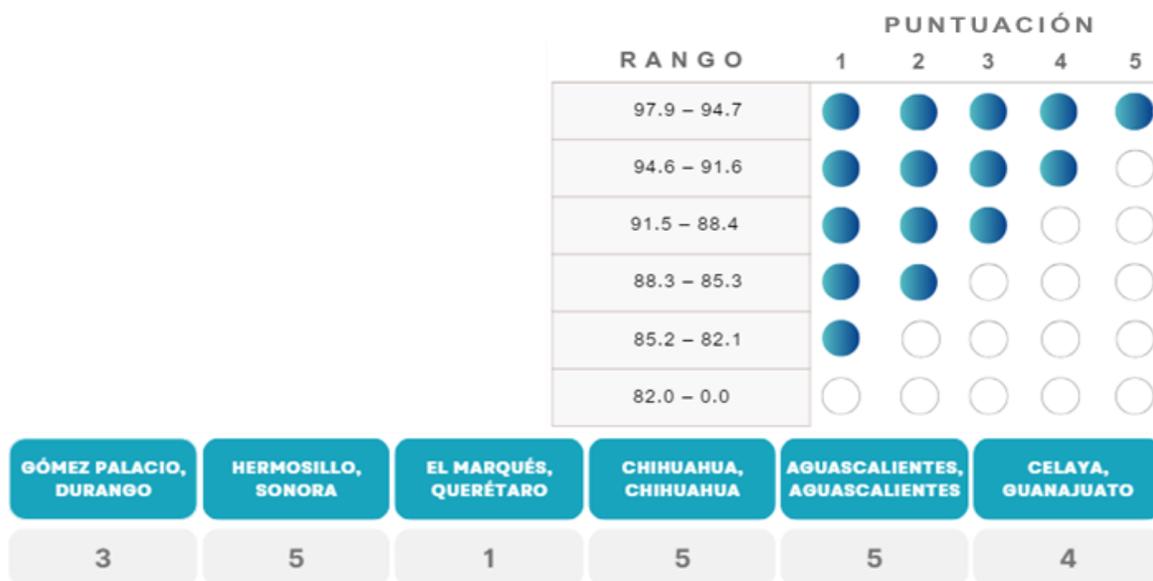


Figura 3.14. Calificaciones asignadas al criterio de viviendas particulares con agua entubada

Nota: Elaboración propia

Hogares con servicio eléctrico

Debido a que la operación de una PTAR demanda una cantidad considerable de energía eléctrica para el funcionamiento de equipos y la realización de los procesos de tratamiento, sería insostenible desarrollar este tipo de proyectos en una región con baja cobertura de servicio eléctrico. Además, la ausencia de electricidad refleja un bajo nivel de desarrollo socioeconómico en la comunidad y, en consecuencia, se dificulta el acceso a servicios básicos y actividades cotidianas, lo cual también impacta negativamente la implementación de una planta de tratamiento. Entonces, si la mayoría de los hogares cuentan con servicio eléctrico, se considerará que el sitio es adecuado para la realización del proyecto, y este aspecto será evaluado con una ponderación alta.

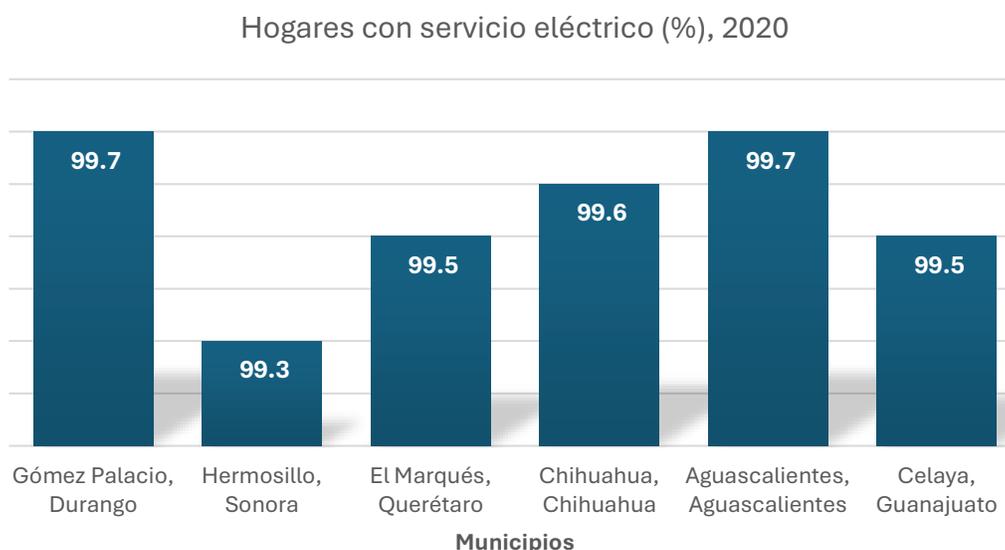


Figura 3.15. Hogares con servicio eléctrico 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2021). Panorama sociodemográfico de México: Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/>

La figura 3.15 muestra el nivel de cobertura de servicio eléctrico que presenta cada municipio, de acuerdo con los datos publicados en el Panorama Sociodemográfico 2020 del INEGI (2020). De esta manera, es evidente que tanto Gómez Palacio como Aguascalientes cuentan con la mayor cobertura por lo cual serán evaluados con 5 puntos. Posteriormente, se le asignarán 4 puntos a Chihuahua, donde se reporta que el 99.6% de los hogares disponen de servicio eléctrico en tanto que, Celaya y El Marqués con una cobertura apenas 0.1%, inferior a la de Chihuahua, recibirán una calificación de 3 puntos y Hermosillo, al tener la menor disponibilidad del servicio, será evaluado con 1 punto. Figura 3.16



Figura 3.16. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de hogares con servicio eléctrico

Nota: Elaboración propia

3.2.2. Aspectos geográficos, ambientales y contexto hídrico

Estos aspectos tienen una importancia de 25% en la matriz de decisión debido a que conocer las características del entorno y la disponibilidad de los recursos hídricos en los sitios seleccionados para su análisis; de esta forma, son determinantes para corroborar la necesidad de implementar nueva infraestructura para el tratamiento del agua, al tiempo que son factores claves para evaluar la calidad del agua y su impacto en el proyecto, en términos de su contribución al aumento de la sostenibilidad ambiental al considerar los efectos en los cuerpos de agua locales. Por otra parte, este análisis también facilita el diseño eficiente de las estructuras hidráulicas que se quisieran disponer y permite una planificación a largo plazo para asegurar el suministro sustentable del agua.

Temperatura

Dado que la temperatura del agua entrante suele verse afectada al albergarse de manera estacional por la temperatura ambiente, esta última repercute en la velocidad de degradación de ciertos procesos biológicos. Por ello, es fundamental conocer la temperatura promedio del sitio y evaluar su efecto sobre el proceso o tecnología que se utilizará para el tratamiento del agua.

Por esas razones la evaluación tomará en cuenta este aspecto descartando aquellos lugares con climas muy cambiantes o temperaturas extremas, debido a su impacto negativo en la eficiencia de la planta de tratamiento. En la figura 3.17, se presentan los intervalos de temperaturas predominantes en los municipios seleccionados.

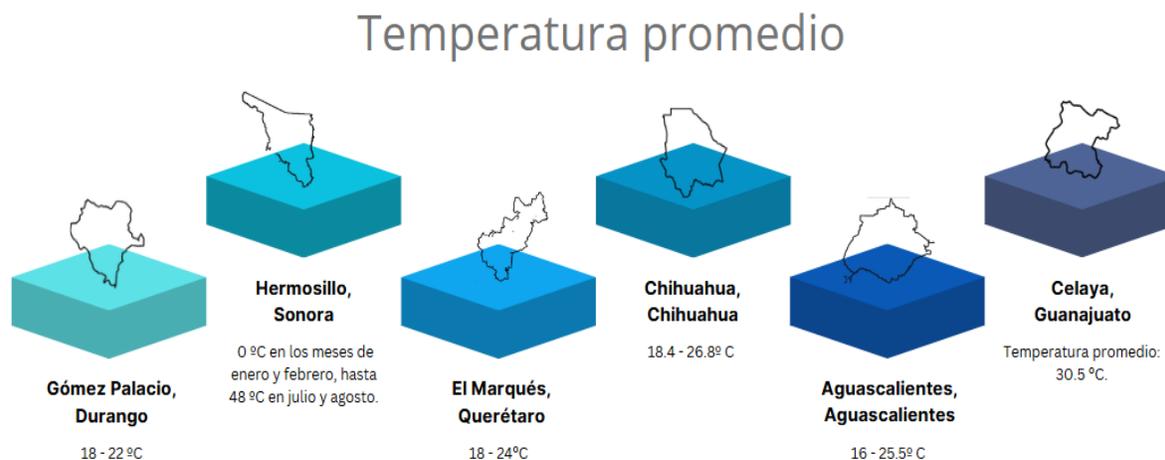


Figura 3.17. Temperatura promedio. Elaboración propia con datos del INEGI y programas municipales.

Nota: Elaboración propia con datos recabados de:

- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal. Gómez Palacio, Durango. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/10/10007.pdf
- Ayuntamiento de Hermosillo. (2022). Plan municipal de desarrollo. Hermosillo 2022 – 2024. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.hermosillo.gob.mx/descargas/PMD_2022WEB.pdf
- Gobierno Municipal de El Marqués. (2020). Programa estratégico para la temporada invernal 2020–2021. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://elmarques.gob.mx/wp-content/uploads/2020/11/PET-INVERNAL-2020-2021-PDP.pdf>
- INEGI. (2010). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (Censo General de Población y Vivienda 2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Municipio de Aguascalientes. (2019). Plan de desarrollo municipal 2019-2021. Secretaría General de Gobierno. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/MUN-12-22.pdf>
- POG. Periódico Oficial de Guanajuato. (2022, 15 de marzo). Programa de gobierno 2021-2024 para el municipio de Celaya. Recuperado de: https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2022_CELAYA_Programa_gobierno_municipal_2021%20-%202024_celaya_gto.pdf

En consideración a los alcances de esta tesis, la evaluación de la temperatura se simplificó debido a que el ejemplo de evaluación se realizará de forma general y no se especificará la tecnología de tratamiento del agua a utilizar, entonces, las variaciones de temperatura que se mantengan dentro de un intervalo templado y adecuado para el funcionamiento de los procesos biológicos se evaluarán satisfactoriamente.

En este contexto, solo Hermosillo, que presenta temperaturas extremas, recibirá una puntuación de 0 al considerarse el sitio menos favorable y los demás municipios, con climas templados, recibirán una valoración de 5 puntos. Figura 3.18



Figura 3.18. Calificaciones asignadas al criterio de temperatura promedio

Nota: Elaboración propia

Situación de los recursos hídricos

La cantidad y calidad de los recursos hidrológicos son importantes para la evaluación de la viabilidad de un sitio destinado a la instalación de una planta de tratamiento. Por ejemplo, si se constata que los recursos hídricos en el sitio son escasos e intermitentes, se asignará una puntuación alta, ya que la escasez de este recurso podría señalar la imperante necesidad de implementar nuevas estrategias para crear fuentes adicionales de suministro.

Al analizar la figura 3.19, se observa que todos los municipios presentan sobreexplotación en sus acuíferos, pozos o reservas de agua por tal motivo, la comparativa considera principalmente el grado de presión.

Por consiguiente, los municipios con mayor grado de presión son Hermosillo y Gómez Palacio, sin embargo, como Hermosillo tiene una mayor cantidad de agua renovable al año, agua que es posible explotar anualmente sin alterar el ecosistema y que se renueva mediante la lluvia, recibirá una valoración superior, ya que representa una gran demanda del agua en el sitio.

Situación de los principales recursos hídricos

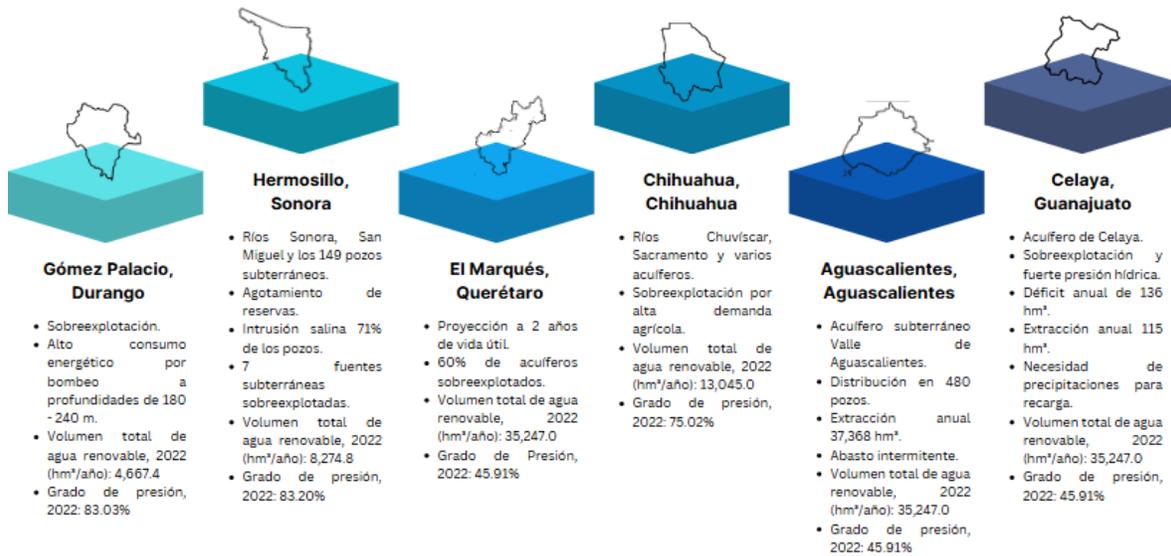


Figura 3.19. Situación de los recursos hídricos. Elaboración propia con datos obtenidos en CONAGUA, Planes municipales y fuentes periodísticas

Nota: Elaboración propia con datos recabados de:

- Municipio de Gómez Palacio. (2022). Plan Municipal de Desarrollo de Gómez Palacio, Durango, 2022-2025. Recuperado de: <https://transparencia.gomezpalacio.gob.mx/wp-content/uploads/2022/12/PLAN-MUNICIPAL-DE-DESARROLLO-2022-Transparencia.pdf>
- OCDS. Observatorio para la Competitividad y el Desarrollo de Sonora A.C. (2021). Hermosillo ¿Cómo Vamos? Informe de Indicadores 2021. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://hermosillocomovamos.org/wp-content/uploads/2022/02/Informe-de-Indicadores-2021-Hermosillo-Como-Vamos-HCV.pdf>
- Vega Carriles, E. (16 de noviembre de 2023). Firman convenio entre El Marqués y la CEA. Plaza de Armas. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://plazadearmas.com.mx/firman-convenio-entre-el-marques-y-la-cea/>
- Municipio de Chihuahua (2022). Plan Municipal de Desarrollo de Chihuahua, 2021-2024. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.chihuahua.gob.mx/sites/default/attach2/anexo/anexo_03-2022_pmd_chihuahua_2021-2024_compressed_1.pdf
- Caldera, A. y Tagle D. (2020). Agua en el bajo guanajuatense [E-book]. Universidad de Guanajuato. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.ugto.mx/ugentucasa/images/pdf/libro/agua-en-el-bajo-guanajuatense.pdf>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>

En otras palabras, a pesar de tener una gran cantidad de agua renovable, Hermosillo presenta un grado muy alto de presión por lo cual, una mejor gestión del tratamiento del agua y la proyección de la reutilización del vital líquido podría contribuir en la solución de estos problemas. Como resultado, Hermosillo se calificó con 5 puntos. Gómez Palacio, con 4 puntos, y Chihuahua obtuvo 3 puntos debido a su grado de presión superior al 75% y su alto potencial de reutilización en actividades agrícolas, que demandan una cantidad considerable de agua. Finalmente, El Marqués, Aguascalientes, y Celaya, al tener el mismo grado de presión y el mismo volumen de agua renovable al año conforme las cifras del Sistema Nacional de Información del

Agua de CONAGUA en 2022 recibirán una valoración de 2 puntos, ya que su grado de presión es menor al 50%. Figura 3.20



Figura 3.20. Calificaciones asignadas al criterio de situación de los recursos hídricos

Nota: Elaboración propia

Obras hidráulicas existentes

Dado que la presencia de una extensa red de distribución de agua, presas, embalses y otras estructuras similares facilitarían el transporte del agua tratada hacia las áreas con potencial para su reutilización, este factor se evalúa positivamente. En la figura 3.21 se resumen las principales obras hidráulicas de cada municipio, así como algunas características específicas de su situación.

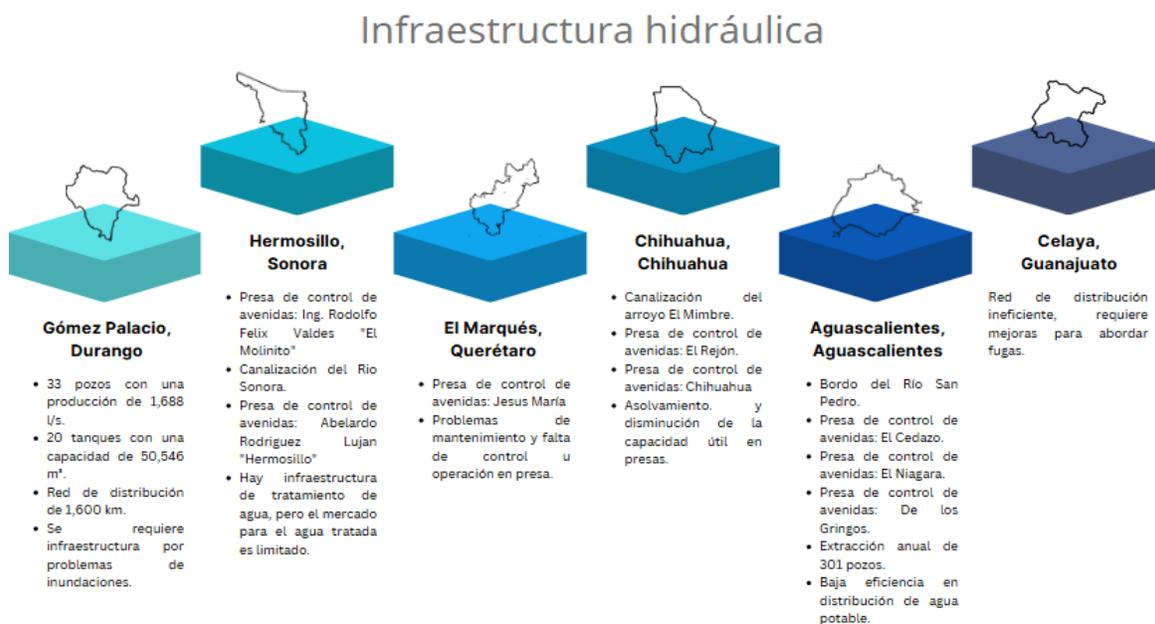


Figura 3.21. Infraestructura hidráulica. Elaboración propia con datos obtenidos en Conagua, planes y programas municipales e informes técnicos.

Nota: Elaboración propia con datos recabados de:

- Del Bajío, E. S. (2023, 9 octubre). Celaya tiene la infraestructura para abastecer de agua potable a la ciudad: Jumapa. Cobertura 360. <https://cobertura360.mx/2023/10/09/guanajuato/celaya-tiene-la-infraestructura-para-abastecer-de-agua-potable-a-la-ciudad-jumapa/>
- CONAGUA. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Celaya. Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guanajuato/DR_1115.pdf

Celaya con una red de distribución deficiente, cuya Presa La Merina a principios de 2024 operaba por abajo del 50% de su capacidad, ha recibido una puntuación de 1 en consideración a esta deficiencia en la infraestructura obstaculiza la distribución adecuada del agua tratada para su reutilización. En contraste, Hermosillo dispone de una infraestructura suficiente para el tratamiento del agua; sin embargo, no hay buenas condiciones para el reúso del agua que mereció una calificación de cero, en consideración de que una nueva planta de tratamiento no ayudaría a resolver su problemática actual.

Por su parte, dado que Gómez Palacio y Chihuahua enfrentan problemas de azolvamiento e inundaciones, la implementación de una planta de tratamiento podría acarrear dificultades que incidan en su operatividad. En este caso, ambos municipios se calificaron con 2 puntos. En similar sentido, Aguascalientes, por una parte, cuenta con una infraestructura hidráulica más extensa, pero, por otra tiene baja eficiencia en la distribución de agua potable y tuvo una calificación de 2 puntos. Finalmente, El Marqués, aunque tiene menos infraestructura, no reporta tantos problemas en comparación con otros municipios, y por ello se le ha asignado una puntuación de 3 puntos. Figura 3.22



Figura 3.22. Calificaciones asignadas al criterio de infraestructura hidráulica

Nota: Elaboración propia

Cobertura de drenaje y alcantarillado

Los sistemas de drenaje y alcantarillado facilitan la recolección y el transporte del agua residual al tiempo que aseguran un suministro constante para el proceso de tratamiento y permiten la devolución éstas al medio ambiente o su reutilización en actividades económicas. Por esta razón, conforme a la matriz la puntuación se reduce cuando la cobertura de estos servicios es menor, reflejando su importancia en la eficacia de una planta de tratamiento de agua residual. En la figura 3.23 muestra el porcentaje de cobertura de drenaje y alcantarillado en cada municipio facilitando así, su visualización para posteriormente llevar a cabo la evaluación.



Figura 3.23. Cobertura de drenaje y alcantarillado, 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2021). Panorama sociodemográfico de México: Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/tableros/panorama/>

La evaluación de este criterio se realizó de manera similar a otros aspectos; de este modo, como la cobertura de drenaje y alcantarillado más alta se encuentra en Aguascalientes con 99.6%, y la más baja en Hermosillo, 98.6%, la diferencia de un punto porcentual se dividió proporcionalmente en cinco rangos. Siendo así, a Chihuahua y Aguascalientes les correspondieron 5 puntos mientras que Celaya y Gómez Palacio obtuvieron 3 y 2 puntos, respectivamente. Para finalizar, por tener la menor cobertura de estos servicios, Hermosillo y El Marqués se calificaron con 1 punto. Figura 3.24



Figura 3.24. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de cobertura de drenaje y alcantarillado

Nota: Elaboración propia

Tomas de agua en operación para abastecimiento público

Mientras más instalaciones existan, más fuentes de captación de agua habrá y, por ende, mayor oportunidad para su distribución, entonces, se calificará positivamente aquellos sitios que presenten gran cantidad de tomas de agua.

Tomas de agua en operación para abastecimiento público, 2021

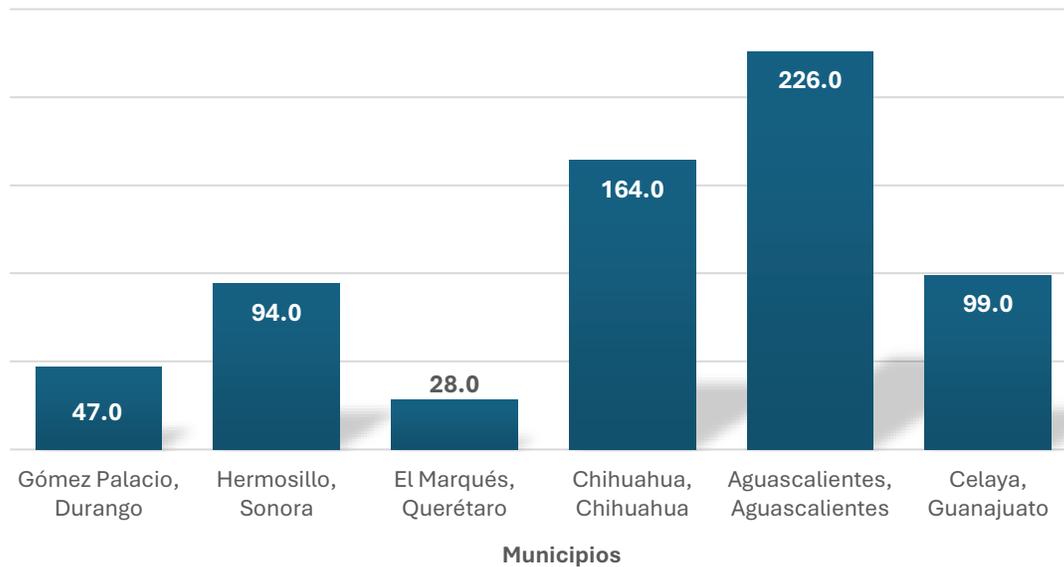


Figura 3.25. Tomas de agua en operación para abastecimiento público 2021.

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI - CENSO NACIONAL DE GOBIERNOS MUNICIPALES y DEMARCACIONES TERRITORIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2021, Módulo 5: Agua potable y saneamiento. (2023, 27 marzo). <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/774>

La cantidad de tomas de agua en operación reportada por el INEGI en 2021 se presenta en la figura 3.25, toda vez que con base en estos datos, se establecieron las ponderaciones correspondientes: Chihuahua, que se encuentra dentro de un rango entre 147 y 186 tomas, recibió una puntuación de 4 y Aguascalientes al presentar el mayor número de tomas obtuvo la calificación más alta, en contraste con El Marqués y Gómez Palacio que tienen menos de 50 tomas en su territorio y, por lo tanto, fueron evaluados con la puntuación más baja. En cuanto a Hermosillo y Celaya por su rango alcanzaron únicamente 2 puntos en su evaluación. Figura 3.26



Figura 3.26. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de tomas de agua en operación para abastecimiento público

Nota: Elaboración propia

Puntos de descarga del agua residual municipal sin tratamiento

La presencia de un elevado número de puntos de descarga del agua residual municipal sin tratamiento será evaluada positivamente, ya que estas descargas tienen el potencial de contaminar fuentes de agua y provocar daños en los ecosistemas acuáticos de la región, lo que subraya la urgencia de implementar nuevos sistemas de tratamiento en la región para reducir la carga contaminante y preservar la calidad del agua en la zona circundante. La figura 3.27 presenta la cantidad de puntos de descarga del agua residual municipal sin tratamiento que se tuvieron en 2021 de acuerdo con cifras oficiales del INEGI.



Figura 3.27. Puntos de descarga del agua residual municipal sin tratamiento 2021

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI - CENSO NACIONAL DE GOBIERNOS MUNICIPALES y DEMARCACIONES TERRITORIALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2021, Módulo 5: Agua potable y saneamiento. (2023, 27 marzo). <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/774>

De acuerdo con lo anterior, los puntos de descarga de agua residual sin tratamiento de El Marqués, Celaya, Chihuahua y Hermosillo, al tener entre 1 y 10 puntos de descarga, recibieron una calificación de 1; en cambio, Aguascalientes con una cantidad excesivamente superior obtendrá una puntuación de 5, mientras que Gómez Palacio, al no tener ningún punto de descarga será calificado con 0. Figura 3.28



Figura 3.28. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de puntos de descarga del agua residual municipal sin tratamiento

Nota: Elaboración propia

Plantas de tratamiento de agua residual, capacidad y caudal en operación

La ponderación asignada a este criterio disminuirá a medida que aumente el número de plantas en el sitio, dado que si bien un mayor número de plantas puede reflejar una mejor cobertura, también puede indicar una saturación o redundancia en la infraestructura de tratamiento, complicando la viabilidad de nuevas instalaciones.

Plantas de tratamiento de aguas residuales capacidad y caudal en operación, 2022

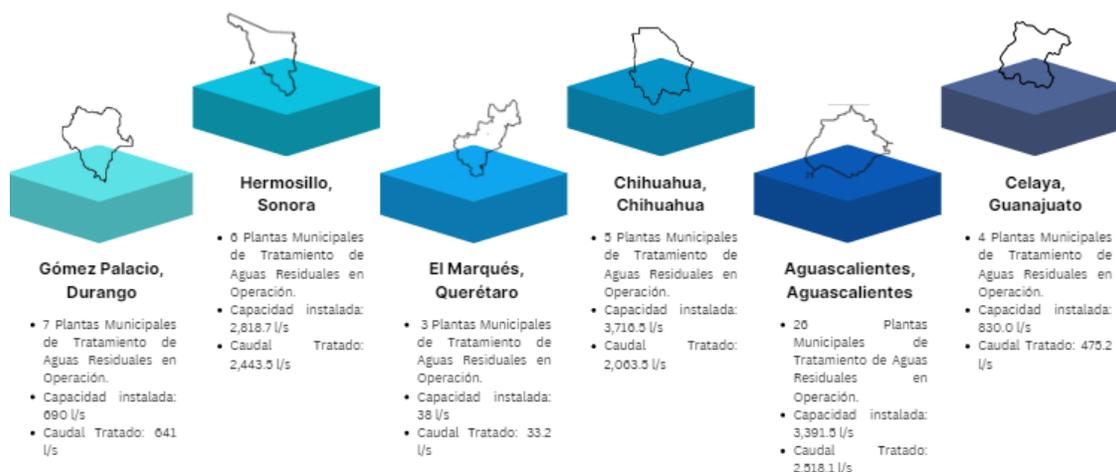


Figura 3.29. Plantas de tratamiento de agua residual 2022

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: CONAGUA. (2022). Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de agua residual en operación. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-8-23.pdf>

La figura 3.29, muestra las plantas de tratamiento que operan en la región, la capacidad instalada y el caudal tratado total de cada municipio. Además, tomando en cuenta que Aguascalientes cuenta con el mayor número de plantas de tratamiento en operación su evaluación fue de 1, puesto que, en lugar de considerar la construcción de nueva infraestructura, se podrían gestionar o rehabilitar las plantas existentes.

Entonces, Chihuahua y Hermosillo, que tienen una capacidad instalada de 3,716.5 l/s, y 2,818.7 l/s, recibirán 2 puntos cada uno, en cuanto a Gómez Palacio obtendrá una calificación media, ya que es el que posee más plantas de tratamiento en comparación con los tres municipios restantes y Celaya, con 4 plantas de tratamiento y un caudal tratado de 475.2 l/s, se valorará con 4 puntos. Finalmente, El Marqués, que solo cuenta con 3 plantas de tratamiento y una capacidad instalada de 38 l/s recibirá 5 puntos porque es el municipio con menor equipamiento para el saneamiento del agua residual. Figura 3.30



Figura 3.30. Calificaciones asignadas al criterio de plantas de tratamiento de agua residual: capacidad y caudal en operación

Nota: Elaboración propia

Cantidad de agua disponible que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021

¿El agua tratada cumple con los límites máximos de descarga que estipula la NOM-001-SEMARNAT-2021? Se evaluará positivamente la poca disponibilidad de agua

que cumpla con los parámetros especificados en la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

La evaluación considerará favorable la escasa disponibilidad de agua que cumpla con los parámetros especificados en la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021 puesto que exterioriza la necesidad de implementar nuevo equipamiento para saneamiento.

Por cuestiones de delimitación de este trabajo, en este caso, no se asignará una valoración a este rubro. Si bien su evaluación es sumamente relevante si se considera la reciente actualización de la normativa, también es cierto que muchas plantas de tratamiento se vuelven obsoletas por no cumplir con la calidad del agua estipulada. Desde esta perspectiva, para obtener datos precisos, este criterio requiere estudios de laboratorio así como la recolección de datos en campo y por ende, en esta ocasión, se asignará una ponderación de cero a todos los municipios de manera que este rubro no influya en la decisión final. Figura 3.31



Figura 3.31. Calificaciones asignadas al criterio de plantas de tratamiento de cantidad de agua disponible que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021

Nota: Elaboración propia

3.2.3. Suelo y accesibilidad al sitio

Se ha asignado un 25% de importancia a este aspecto dentro de la matriz de decisión por su relevancia en la evaluación de la viabilidad de construir una PTAR, dado que este aspecto considera factores indispensables como la disponibilidad de terrenos en venta con una superficie de al menos 10,000 metros cuadrados y vías de acceso adecuadas que conecten al predio. Estos factores son relevantes en términos de futuras expansiones, una ubicación estratégica que minimice el impacto ambiental y social, así como el fácil acceso para el transporte de materiales, maquinaria y personal, factores que mejoran la eficiencia operativa y reduce costos logísticos.

Nivel de sequía

Este indicador se basa en la interpretación de diversos índices, que incluyen mediciones de precipitación, salud de la vegetación, humedad del suelo, temperaturas, nivel de agua en presas, y la consulta de expertos locales, para evaluar

las condiciones de sequía en distintos lapsos de tiempo. Las regiones afectadas por la sequía se identifican en una escala que va desde 'anormalmente seco' (D0) hasta 'sequía excepcional' (D4), esta última representa una situación de emergencia debido a la ausencia de agua, en cuyo caso se otorgó una puntuación alta a los municipios que la presenten. La figura 3.32 exhibe los niveles de sequía que ha experimentado cada municipio durante el primer semestre del año 2024, a partir de información recabada de la base de datos que CONAGUA actualiza quincenalmente, conocida como Monitor de Sequía en México.

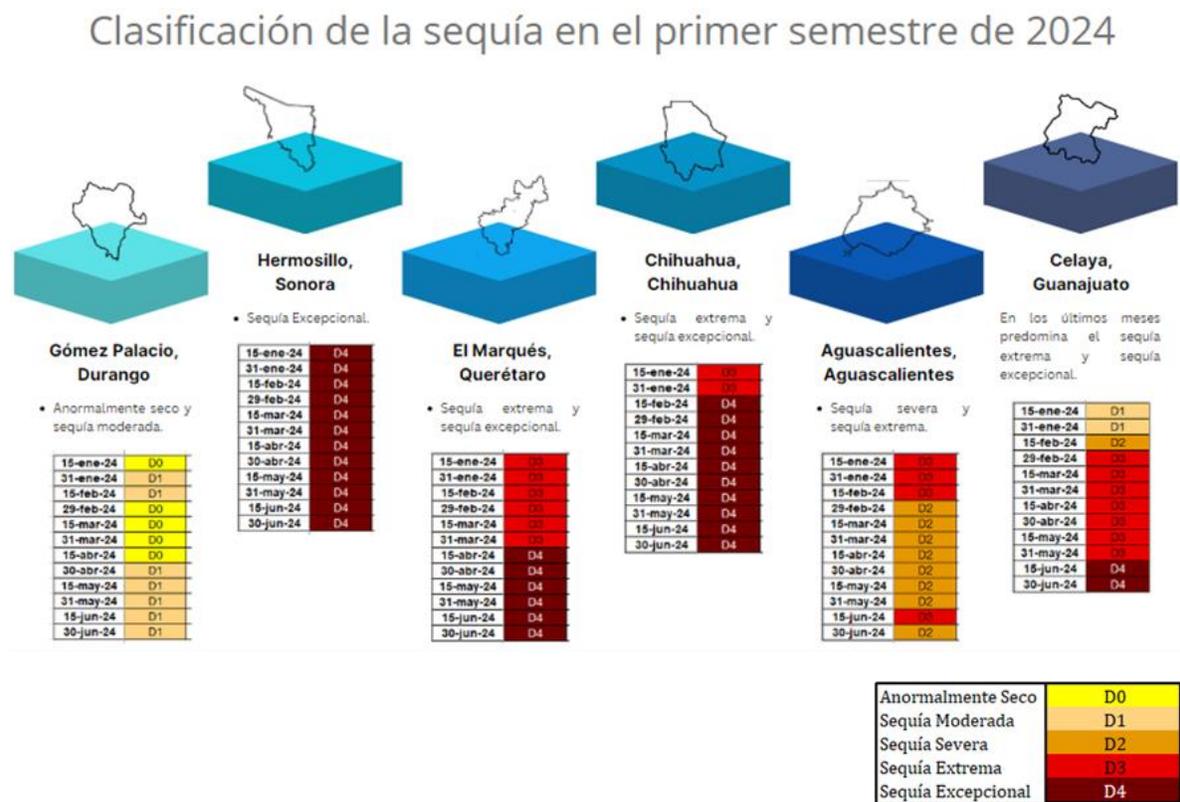


Figura 3.32. Nivel de sequía 2024

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: CONAGUA. (2022). Monitor de sequía en México. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

Se comenzó por asignar una calificación de 5 a Hermosillo debido a su situación de sequía excepcional durante la mitad del año, lo que indica una alta necesidad de agua que podría ser aliviada mediante el reúso del recurso hídrico tras su tratamiento, después, a Chihuahua se le otorgarán 4 puntos y a El Marqués 3, ya que al menos en los seis últimos registros ambos municipios han sido clasificados con sequía excepcional. Además, Celaya recibirá una calificación de 2 en función de la evolución de la sequía en la región, mientras que Aguascalientes, por la predominancia de sequía severa, obtendrá un puntaje de 1, sin embargo, Gómez Palacio que solo ha

presentado sequía moderada se calificó con una calificación de cero, debido a la baja gravedad de su situación de sequía. Figura 3.33



Figura 3.33. Calificaciones asignadas al criterio de nivel de sequía

Nota: Elaboración propia

Disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR

El análisis de la disponibilidad de terrenos para la disposición de una PTAR se llevará a cabo mediante la identificación de terrenos en venta con una superficie mínima de 10,000 metros cuadrados, para ello se utilizará la plataforma Inmuebles 24 la cual, además proporciona un mapa con la ubicación de los inmuebles en venta que cumplen con dichas características (Figura 3.34). Posteriormente, se realizará una clasificación para seleccionar únicamente aquellos terrenos que satisfagan los requisitos de distancia a fuentes de agua y áreas residenciales, así como, cuenten con una lejanía considerable con otras plantas de tratamiento (Inmuebles24, 2024). Este proceso tiene como objetivo garantizar la eficiencia operativa de la Planta de Tratamiento y minimizar el impacto ambiental negativo en consecuencia, la evaluación de cada municipio se incrementará en función de la cantidad de terrenos disponibles que cumplan con estos criterios.

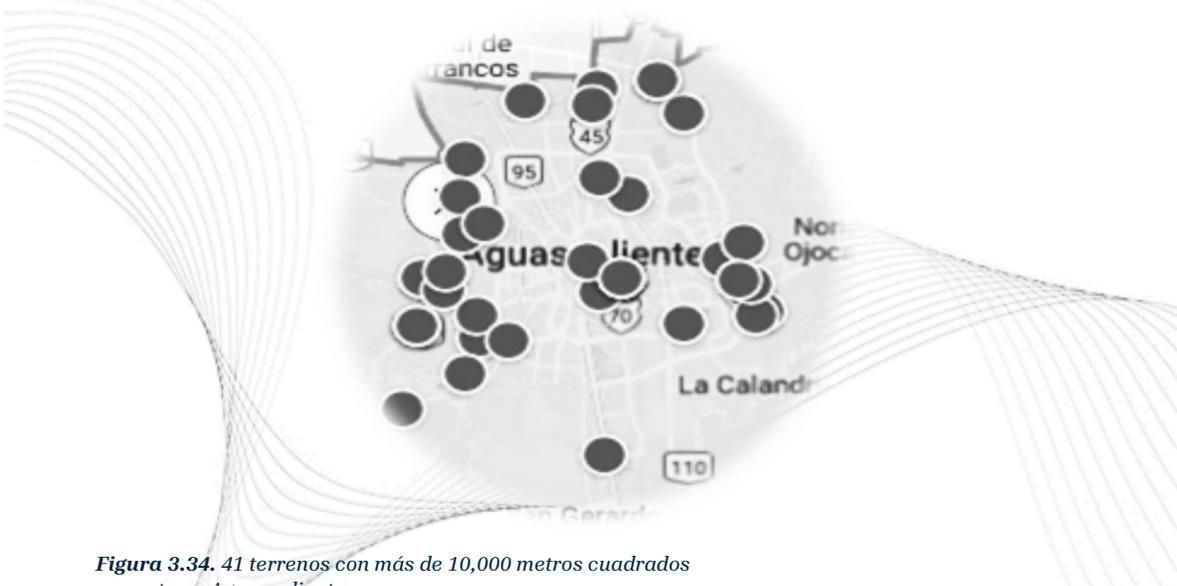


Figura 3.34. 41 terrenos con más de 10,000 metros cuadrados

Fuente: Inmuebles24 (20 de junio de 2024). Terrenos más de 10,000 metros cuadrados en venta en Aguascalientes. <https://www.inmuebles24.com/terrenos-en-venta-en-aguascalientes-mas-de-10000-metros-cuadrados.html>

En la figura 3.35 se presentan los mapas de los 6 municipios, en ellos se identifican las plantas de tratamiento existentes mediante símbolos rojos. En cambio, los terrenos disponibles que cumplen con las especificaciones se representan con el ícono de una planta de tratamiento y los terrenos con una superficie igual o mayor a 10,000 metros cuadrados se destacan con puntos naranjas.

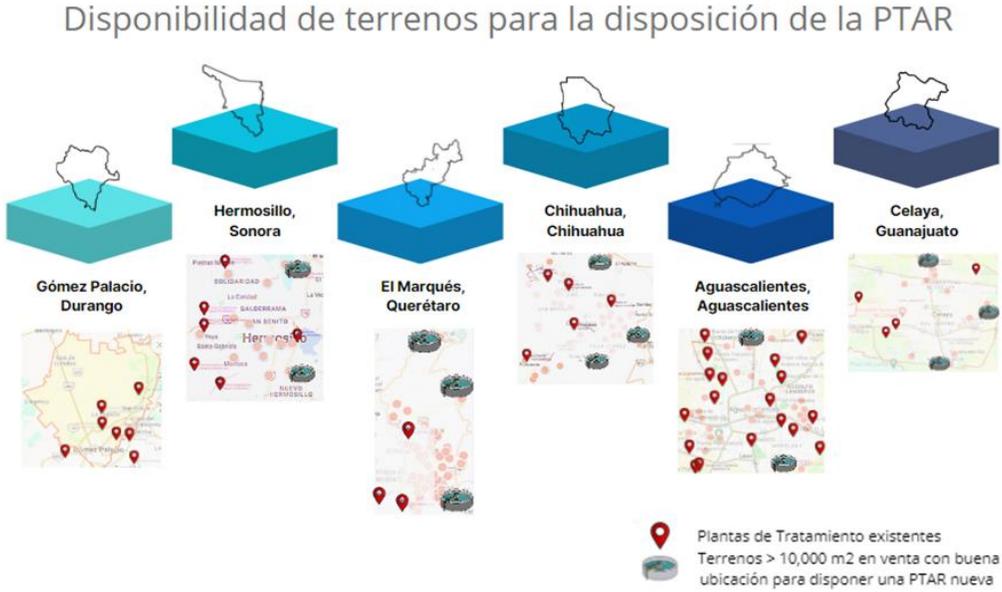


Figura 3.35. Disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR 2024.

Nota: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Google Maps.

Esta representación visual facilita la comparación por lo que, Gómez Palacio, al no contar con terrenos disponibles que cumplan con estas características, será evaluado con un cero, en contraste, El Marqués y Celaya, al tener al menos tres terrenos bien ubicados y con poca infraestructura existente para tratamiento, recibirán calificaciones de 5 y 4, respectivamente. En cuanto a Chihuahua será calificado con un 3, ya que presenta cinco plantas de tratamiento en el mapa, por otro lado, Hermosillo y Aguascalientes que tienen solo dos terrenos adecuados para una nueva planta de tratamiento, recibirán puntuaciones de 2 y 1, respectivamente, siendo Aguascalientes penalizado por su gran cantidad de plantas. Figura 3.36



Figura 3.36. Calificaciones asignadas al criterio de disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR

Nota: Elaboración propia

Accesibilidad al sitio

Este rubro es un complemento del anterior, toda vez que a partir de los terrenos previamente seleccionados que cumplen con las características especificadas, se evaluó su accesibilidad mediante la identificación de las vialidades que los conectan. En la figura 3.37 los sitios con buena accesibilidad señalan con una paloma; al tiempo, que se distinguen con una equis para aquellos que no cuentan con una infraestructura vial adecuada. Los sitios con mayor número de terrenos accesibles serán mejor evaluados, ya que esto indica que el proyecto contará con una logística eficiente en la construcción y operación de la PTAR, con buena logística para el transporte de materiales, maquinaria y personal y, por tanto, buena viabilidad operativa a largo plazo.



Figura 3.37. Accesibilidad al sitio 2024

Nota: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en Google Maps.

Debido a la ausencia de terrenos disponibles en Gómez Palacio se calificó con cero puntos, seguido del municipio de Aguascalientes, donde únicamente se identificaron dos terrenos, ubicados en una misma zona y con buena conectividad vial, que se calificó con 1. El Marqués, con dos terrenos bien ubicados y uno que a pesar de sus limitadas vialidades sigue siendo accesible, pero las áreas se ubican en una zona cercana, recibió 2 puntos. En Chihuahua se identificaron dos terrenos con comunicación vial, además de uno con poca infraestructura para el transporte, pero accesible, la diferencia es que estos terrenos están distribuidos en diferentes puntos del municipio lo que ofrece más opciones para la disposición de plantas de

tratamiento, por lo cual se le asignó una calificación de 4, al igual que Hermosillo por la similitud del caso. Por último, Celaya presenta cuatro sitios con buena accesibilidad vial distribuidos a lo largo del municipio razón por la cual se le otorgó la máxima calificación. Figura 3.38



Figura 3.38. Calificaciones asignadas al criterio de accesibilidad al sitio

Nota: Elaboración propia

3.2.4. Aspectos económicos y servicios preexistentes

La situación económica de la región proporciona un indicio de las posibilidades de crecimiento porque revela la capacidad de inversión del municipio lo que influye directamente en la sostenibilidad, operatividad, mantenimiento y eficiencia de los proyectos. Por otra parte, las actividades económicas y los servicios preexistentes de la región son factores claves para implementar una economía circular del agua, ya que este enfoque promueve la gestión sostenible de los recursos hídricos y es una solución innovadora frente a la creciente demanda de recursos naturales. Para la ingeniera e investigadora del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) El Colorado, Mabel Amarilla, la economía circular del agua es esencial debido a que la disponibilidad de este recurso está amenazada por el crecimiento poblacional, la actividad industrial y agrícola, además del cambio climático (ClubIAGUA, 2023b).

Por las razones expuestas, es importante que los nuevos proyectos para el tratamiento del agua consideren el uso de tecnologías avanzadas, que además estimen el potencial de reutilización en actividades económicas que requieren gran cantidad de agua, como: la agricultura, la limpieza de instalaciones ganaderas, el riego en áreas verdes como jardines y campos de golf, los servicios de autolavado, el uso en sanitarios de instituciones educativas, etc. Complementariamente, es recomendable considerar el uso de tecnologías sostenibles que valoricen los residuos, por ejemplo, el uso de microalgas para llevar a cabo el tratamiento del agua, que mediante la revalorización de la biomasa generada pueden producir biogás y biofertilizantes, o utilizar la biomasa para alimentar al ganado. Este modelo no solo aumenta los rendimientos de producción agrícola y reduce la generación de metano, sino que también disminuye el impacto ambiental y fomenta la economía circular, asegurando la disponibilidad y calidad del agua para las futuras generaciones. Por ello, este aspecto tiene un porcentaje de importancia del 35%.

Actividad bancaria y plazas comerciales

La actividad bancaria y la existencia de centros comerciales son indicadores del nivel de desarrollo económico de una región, desde esta perspectiva, la presencia de numerosos bancos refleja estabilidad y accesibilidad financiera lo que facilita el acceso a créditos y otros productos financieros esenciales para la construcción y operación de una planta de tratamiento de agua residual pues atrae inversores y aumenta la viabilidad financiera del proyecto.

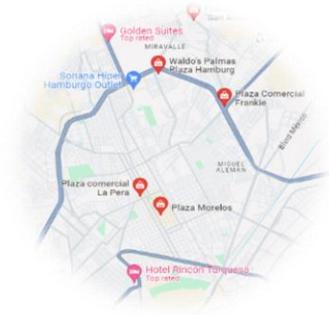


Figura 3.39. Plazas comerciales identificadas en Gómez Palacio

Fuente: Google Maps, 2024

Por su parte, los centros comerciales atraen a numerosos visitantes y compradores que refuerzan las funciones urbanas y fomentan la mejora de la infraestructura con lo cual se genera una demanda constante de servicios esenciales, incluido el tratamiento del agua residual. A su vez, desde una perspectiva logística, las regiones con centros comerciales desarrollados suelen contar con una infraestructura de transporte adecuada y acceso a servicios esenciales como electricidad, agua potable y telecomunicaciones, lo que facilita el transporte de materiales y recursos indispensables para la operación de la PTAR, de esta manera, la alta presencia de estos elementos merece una calificación elevada.

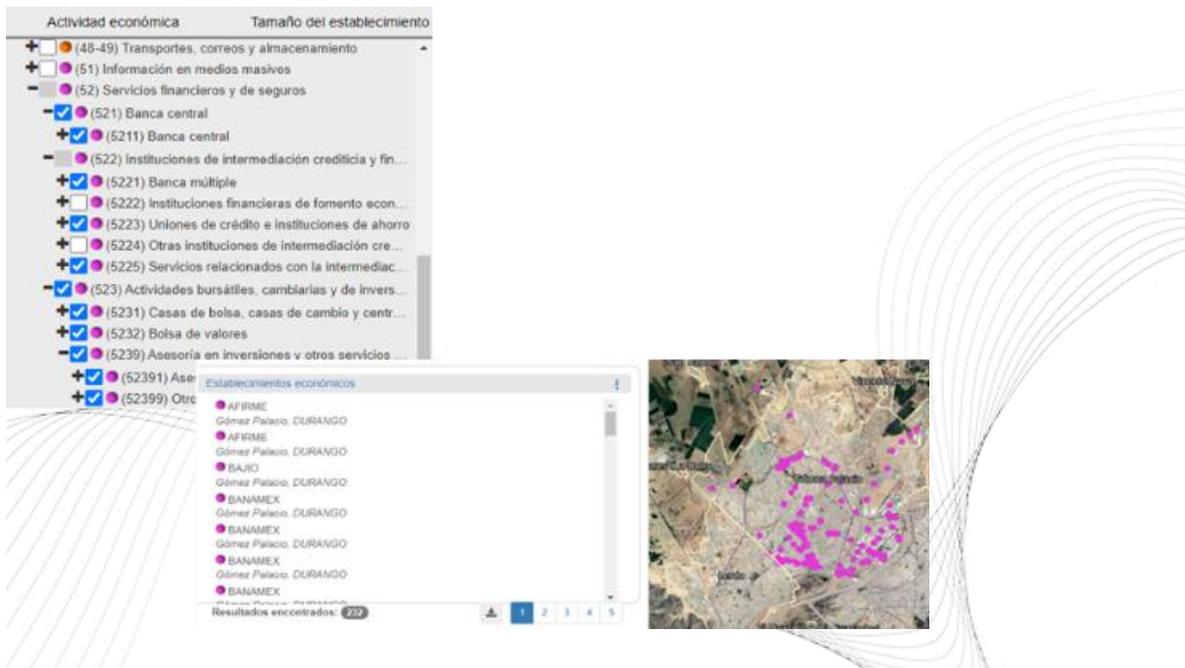


Figura 3.40. Búsqueda de la actividad bancaria en Gómez Palacio

Fuente: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

La identificación de estas unidades económicas se realizó utilizando el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), en esta plataforma se clasificaron las instituciones bursátiles de la región y se excluyeron aquellos comercios dedicados al préstamo de dinero, como se muestra en la figura 3.40, mientras que las plazas comerciales fueron localizadas mediante Google Maps (Figura 3.39). De manera que en la figura 3.41 se determinó el número de establecimientos de este tipo presentes en cada municipio.

Actividad bancaria y plazas comerciales

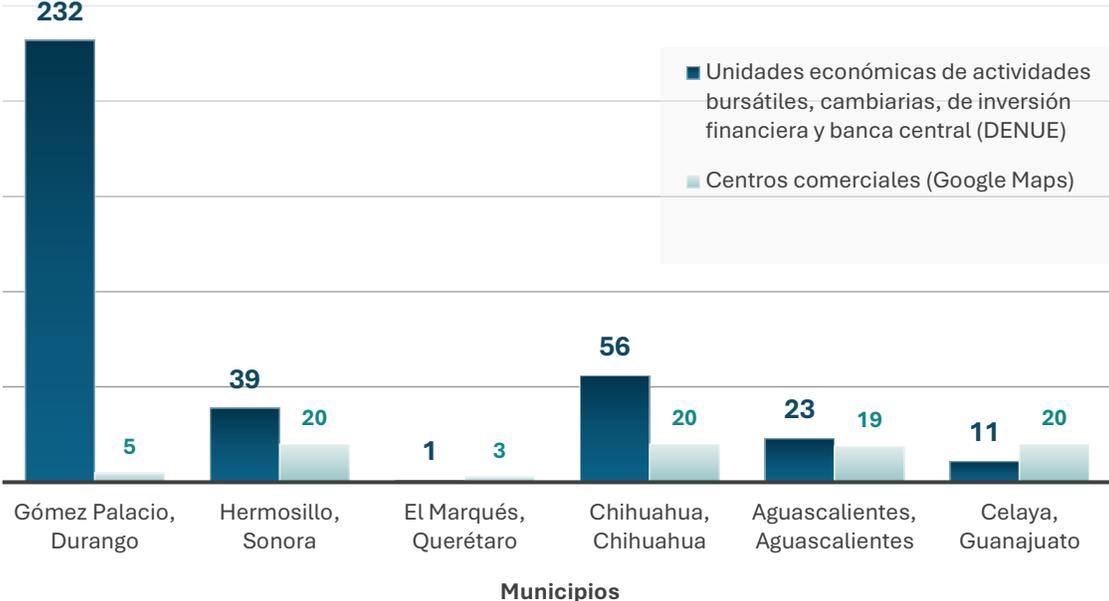


Figura 3.40. Actividad bancaria y plazas comerciales en 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

La evaluación se efectuó de la siguiente manera: Gómez Palacio, a pesar de contar con pocos centros comerciales, obtuvo una calificación de 5 debido a la alta cantidad de actividades bursátiles. En comparación, los demás municipios presentan un número similar de centros comerciales por lo cual facilitó la valoración, de tal manera que, Chihuahua recibió una calificación de 4, Hermosillo de 3, Aguascalientes de 2 y Celaya de 1, puesto que principalmente se consideró el número de bancos presentes en cada municipio. Finalmente, El Marqués obtuvo una valoración de cero debido a la baja existencia de estos establecimientos comerciales. Figura 3.42



Figura 3.41. Calificaciones asignadas al criterio de actividad bancaria y plazas comerciales

Nota: Elaboración propia

Población económicamente activa

En este tema se reitera la trascendencia de seleccionar un sitio con un desarrollo económico robusto para la implementación del proyecto, de esta forma, la mayor presencia de personas económicamente activas se traduce en una evaluación favorable de la zona al indicar producción y la generación de ingresos, componentes clave en el crecimiento económico y la prosperidad regional.

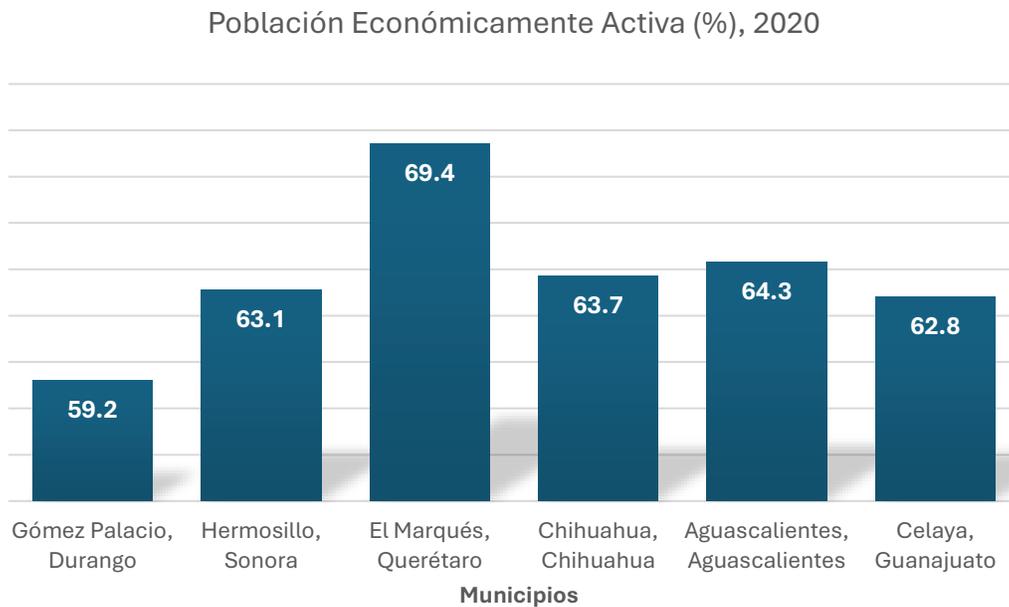


Figura 3.42. Población económicamente activa 2020

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: SE. (2020). DATAMÉXICO. Secretaría de Economía (SE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/>

En la figura 3.43 se muestra el porcentaje de la Población Económicamente Activa (PEA) de cada municipio en 2020, declarada por la plataforma Data México del Gobierno de México. Así, El Marqués, con casi el 70% de su PEA, obtuvo una evaluación de 5 puntos; Aguascalientes y Chihuahua, con 65.31% y 63.28%, recibieron 3 puntos; Hermosillo y Celaya con el 63%, obtuvieron 2 y Gómez Palacio, con menos del 60%, recibió una calificación de 1 punto. Figura 3.44

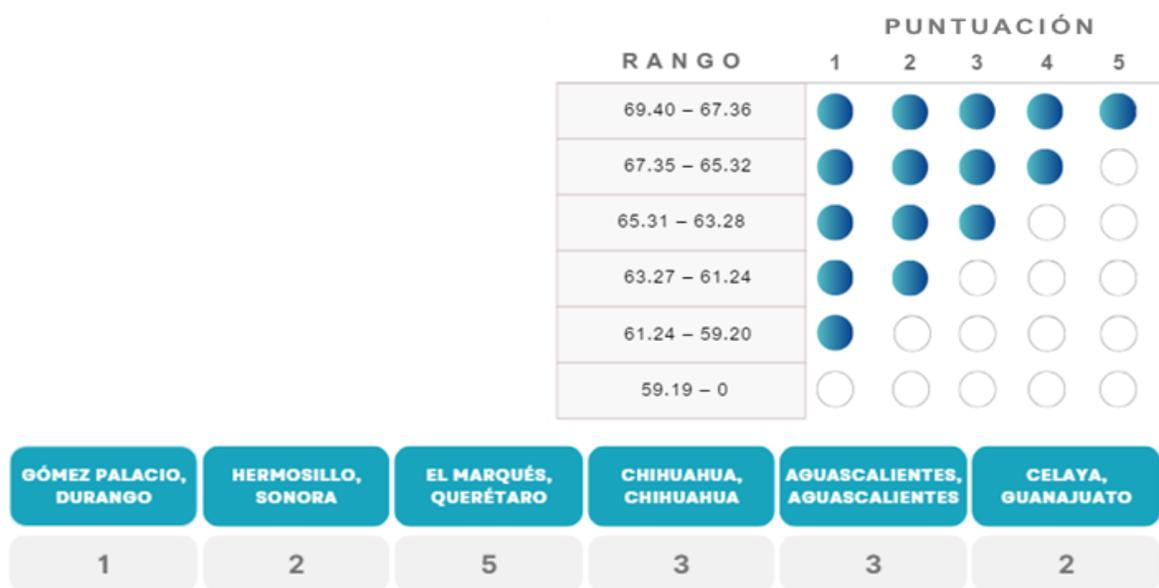


Figura 3.43. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de población económicamente activa

Nota: Elaboración propia

Agricultura

En México, cerca del 77% del agua disponible se emplea en el sector agrícola (CONAGUA, 2021), lo que reafirma la necesidad de reemplazar el agua tratada utilizada para reducir la presión sobre los recursos hídricos. En el país, la reutilización de agua residual tratada para el riego agrícola está regulada por la NOM-001-SEMARNAT-2021, cuyas normativas garantizan un uso adecuado y sostenible de este recurso; de esta manera, es una alternativa óptima para los agricultores pues a su vez, puede proporcionar una fuente económica de fertilizante, siempre y cuando se manejen adecuadamente la cantidad de agua y nutrientes.

- *Superficie sembrada anual*

Un mayor número de hectáreas de superficie agrícola destinada a la siembra de cultivos representa un potencial más amplio para el reúso de agua tratada, por lo que se le asignará una ponderación mayor. Esta información se obtuvo a través del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2021), una aplicación en la cual es posible acceder a datos detallados sobre tipos de cosechas, volúmenes de producción de los cultivos a nivel municipal, clasificados por ciclo de producción, en este análisis es importante tener conocimiento sobre las hectáreas de superficie sembrada debido a su influencia en el cálculo de la demanda hídrica por unidad de producción agrícola. La superficie sembrada anual y la huella hídrica de cada cultivo permiten analizar el potencial de reutilización del agua tratada, como

proponen Juan Morgan y otros en el libro *Tratamiento y Reúso de Agua Residual Municipal: Metodología para Estimar el Potencial de Reúso en una Región y Evaluar el Desempeño de Plantas de Tratamiento* (2023).

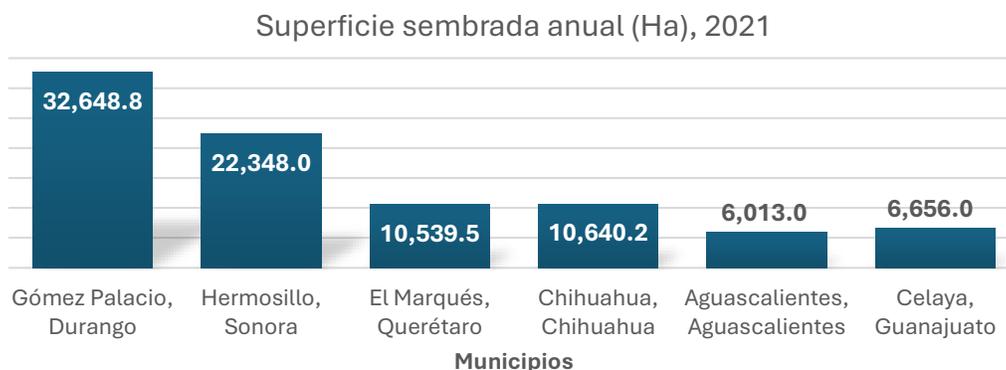


Figura 3.44. Superficie sembrada anual 2021

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2023)

La figura 3.45 da cuenta de los municipios con menor superficie sembrada, en este caso Aguascalientes y Celaya, por lo que recibirán una calificación de 1 punto. De igual manera, El Marqués y Chihuahua también obtendrán 1 punto porque su área sembrada es casi tres veces menor que la de Gómez Palacio, el cual posee la mayor cantidad de hectáreas y, por consiguiente, será evaluado con un puntaje de 5. Hermosillo, se evaluó con 4 por ser el segundo municipio con mayor superficie sembrada. Figura 3.46



Figura 3.45. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de superficie sembrada anual

Nota: Elaboración propia

- *Servicios relacionados con la agricultura*

La importancia económica de estas entidades se destaca por su capacidad para optimizar el uso del agua y reducir los residuos, dado que las PTAR pueden recuperar sus costos mediante la venta de subproductos como fertilizantes a base de fósforo, nitrógeno y biosólidos. Por ejemplo, en Chile la planta de “La Farfana” produce 800 toneladas diarias de lodos, mismos que se entregan gratuitamente a los agricultores, quienes los reutilizan como fertilizante, de esta manera la Planta de Tratamiento ahorro anualmente \$11.6 millones de dólares al evitar los costos de disposición de los lodos en vertederos (Banco mundial, 2020b). Asimismo, la empresa canadiense Ostara Company recupera fosfato en forma de gránulos, y los ingresos generados por la venta de este fertilizante se comparten con la ciudad para compensar los costos de las instalaciones. En consecuencia, a medida que disminuya la cantidad de unidades económicas dedicadas a los servicios agrícolas, menor será la ponderación asignada (Sarabia et. al, 2022).

Por lo tanto, en la figura 3.47 se presentan las unidades económicas dedicadas a la prestación de servicios agrícolas de acuerdo con el DENUÉ.

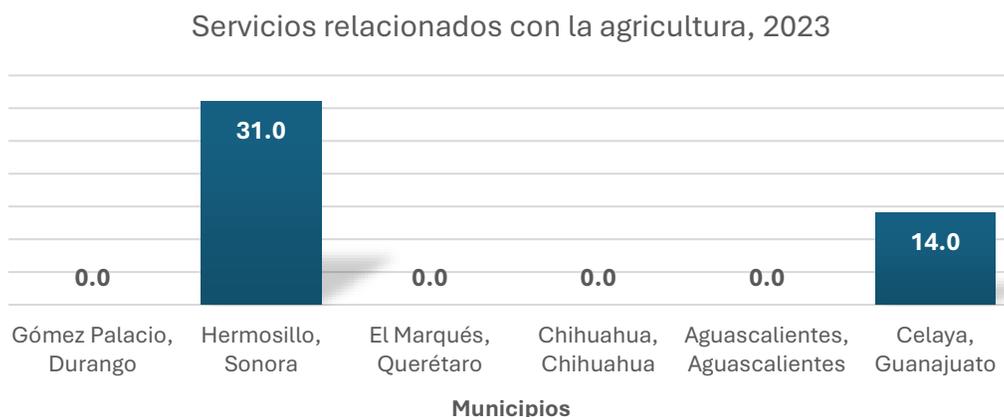


Figura 3.46. Servicios relacionados con la agricultura 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUÉ). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Al realizar un análisis comparativo, se concluye que Gómez Palacio, El Marqués, Chihuahua y Aguascalientes no se incluirán en la evaluación debido a la inexistencia de este tipo de establecimientos en dichas regiones. Por otro lado, Hermosillo recibirá una valoración de 5 puntos por contar con 31 unidades económicas dedicadas a los servicios agrícolas, mientras que Celaya, por solo contar con

aproximadamente la mitad de estos establecimientos que tiene Hermosillo, se le asignarán 3 puntos. Figura 3.48



Figura 3.47. Calificaciones asignadas al criterio de servicios relacionados con la agricultura

Nota: Elaboración propia

Ganadería

La relevancia de considerar la ganadería para seleccionar una buena ubicación de una PTAR radica en que, mediante ciertos procesos, se puede promover la valorización de los residuos y la reutilización del agua tratada. A fin de ilustrar el caso es oportuno mencionar que investigadores del Instituto de Procesos Sostenibles de las universidades españolas Universidad de Valladolid y de la Universidad de Almería, en 2022, desarrollaron tecnologías sostenibles basadas en microalgas que purifican el agua residual de manera eficiente y permiten recuperar la biomasa algal generada y utilizarla como materia prima para la producción de biocombustibles, fertilizantes, mejoradores de suelos, bioplásticos o alimentos para animales, beneficiando especialmente al ganado porcino, aves de corral y peces (Zhang et al., 2020; Maroušek et al., 2023).

Este enfoque sostenible reduce significativamente el impacto ambiental de las explotaciones ganaderas y fomenta la economía circular al valorizar los subproductos del tratamiento del agua. Además, la reutilización del agua tratada para la limpieza de corrales, maquinaria y equipo, así como para el riego de áreas verdes dentro de las instalaciones ganaderas, contribuye a un uso más eficiente del agua y reduce el consumo de agua potable (Garrote, 2022 y Rojo, 2024).

- *Existencias de ganado porcino*

En este criterio se recopilaron los datos sobre el número de cabezas de ganado porcino destinadas a la producción de carne en los seis municipios que se evaluarán. Esta información se obtuvo del SIACON (2021) y se concentra en la figura 3.49.

Número de cabezas de cerdo destinadas a la producción de carne, 2021

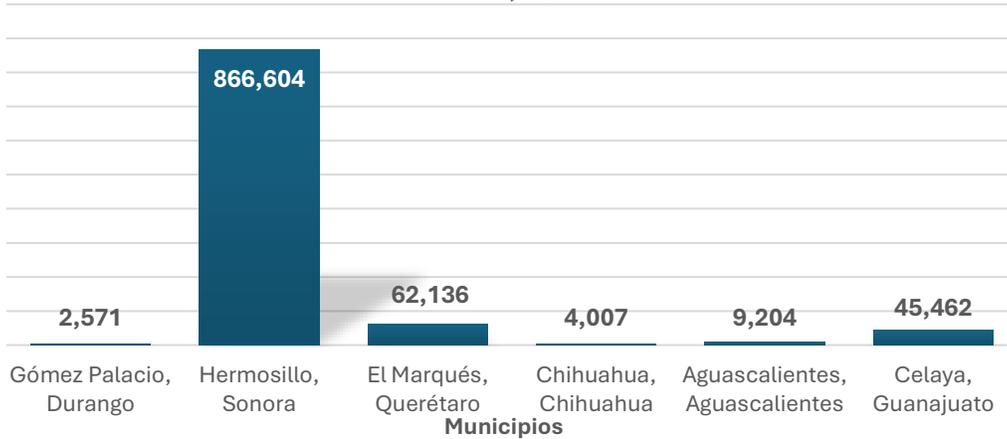


Figura 3.48. Número de cabezas de cerdo destinadas a la producción de carne 2021

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2023)

En el ejercicio Hermosillo tuvo la mejor valoración con casi un millón de cabezas de ganado porcino, sin embargo, dada la notable disparidad en comparación con los otros municipios, se decidió que la segunda calificación más alta sería de 3 puntos para un intervalo de entre 63,000 y 42,000 cabezas, ubicando así a Celaya y El Marqués en esa categoría. Mientras Aguascalientes, Chihuahua y Gómez Palacio, recibirán una evaluación de 1 punto. Figura 3.50



Figura 3.49. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de existencias de ganado porcino

Nota: Elaboración propia

- *Existencias de aves de corral*

En este criterio se recopilamos los datos sobre la avicultura, específicamente el número de aves y guajolotes destinados a la producción de carne y huevo, en los seis municipios evaluados a partir del SIACON (2021), una herramienta proporcionada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera que se resumen en la figura 3.51

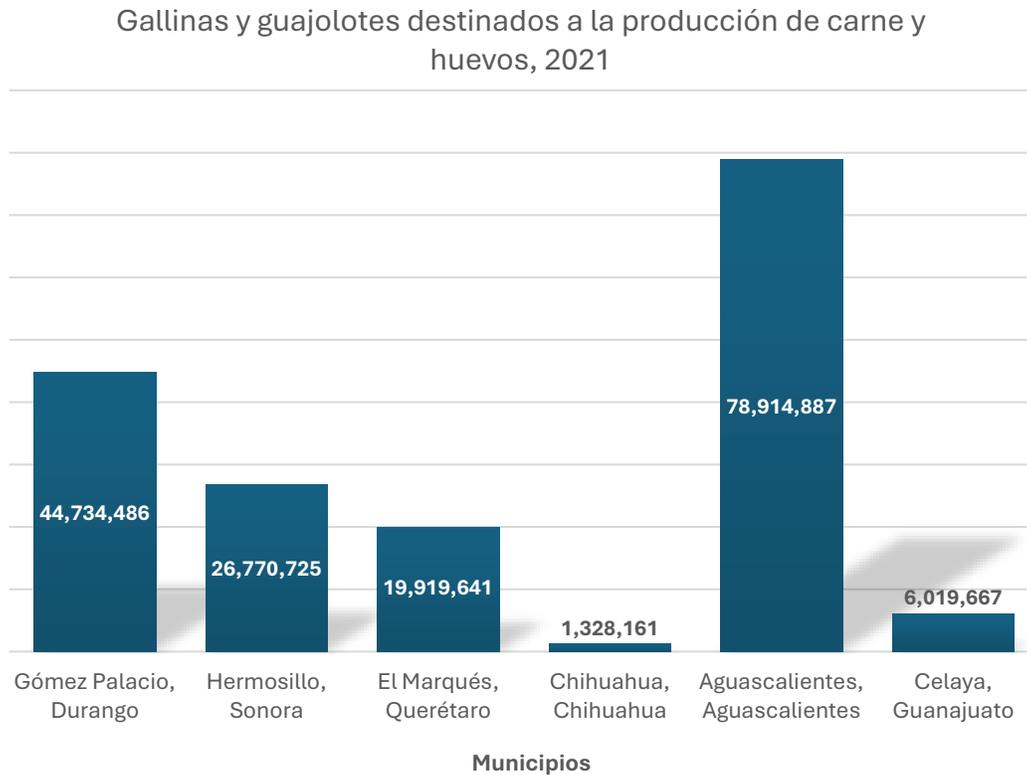


Figura 3.50. Número de aves de corral destinados a la producción de huevo y carne, 2021

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (2023)

A partir de esta información, se asignó una valoración de un punto a Celaya y Chihuahua y de dos a Hermosillo y El Marqués. Por otra parte, Gómez Palacio obtendrá una valoración media y Aguascalientes recibirá la calificación más alta debido a su considerable cantidad de aves de corral, cercana a los 80 millones. Figura 3.52



Figura 3.51. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de existencias de aves de corral

Nota: Elaboración propia

- *Servicios relacionados con la cría y explotación de animales*

La figura 3.53 presenta el número de establecimientos, de cualquier tamaño, dedicados a actividades como el alquiler de maquinaria y equipo de uso pecuario, inseminación artificial, inspección zootécnica, cuidado de animales, limpieza de gallineros, recolección de estiércol, baños parasiticidas, limpieza, herraje de caballos, marcaje, nebulizaciones al ganado y servicios relacionados con la pesca en cada municipio. Dicha información es relevante porque entre más establecimientos puede haber una mayor oportunidad para la valorización de los residuos y la reutilización del agua tratada.

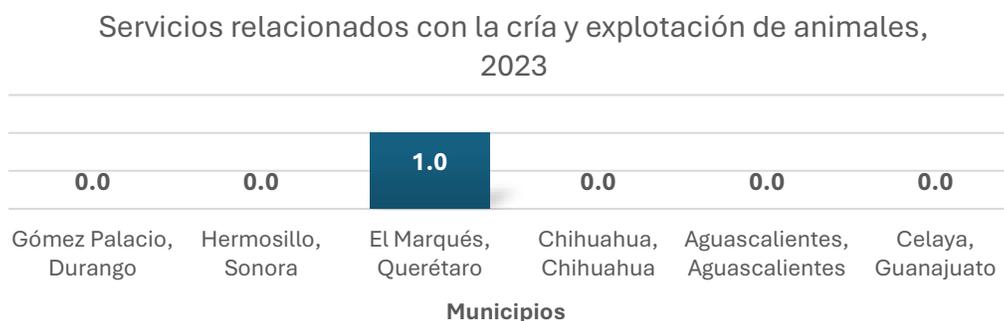


Figura 3.52. Servicios relacionados con la cría y explotación de animales, 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Dado que únicamente el municipio de El Marqués cuenta con un establecimiento de este tipo, se le asignará una valoración de un punto, ya que esta cantidad no se considera significativa. Los demás municipios no recibirán puntuación, ya que el DENUe en 2023 no reportó la existencia de servicios con estas características en esas regiones. Figura 3.54



Figura 3.53. Calificaciones asignadas al criterio de servicios relacionados con la cría y explotación de animales

Nota: Elaboración propia

Acuicultura

A través del DENUe se identificaron los establecimientos dedicados a la acuicultura, ya que esta actividad económica presenta un área de oportunidad significativa en términos de valorización de residuos provenientes de algunos procesos de tratamiento de agua. Figura 3.55

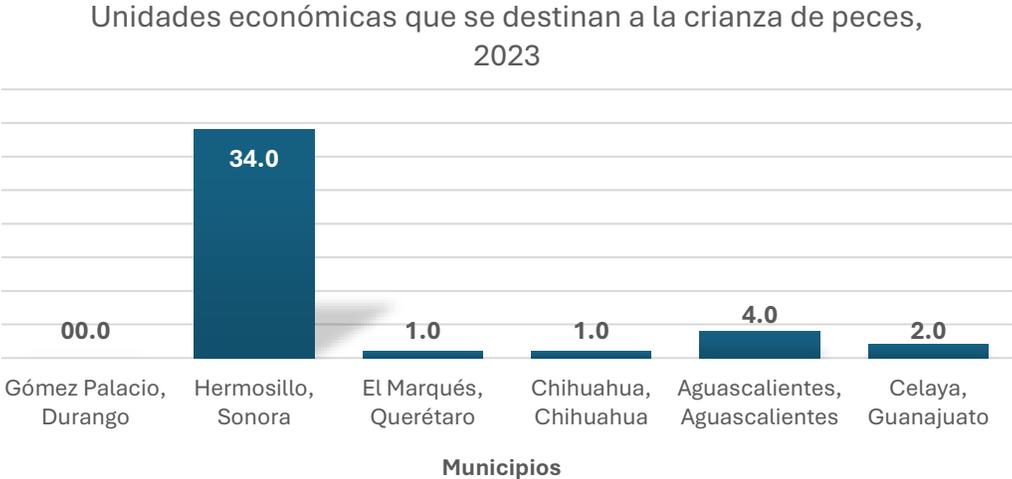


Figura 3.54. Acuicultura 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUe). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

De acuerdo con la figura, Hermosillo es la región con mayor actividad acuícola, razón por la cual se le asignará una ponderación de 5 puntos. Por otro lado, Aguascalientes,

Celaya, Chihuahua y El Marqués recibirán una ponderación de 1 punto, puesto que si bien existen instalaciones para la crianza de peces estas, no superan las cinco y, por último, Gómez Palacio no cuenta con este tipo de establecimientos. Figura 3.56



Figura 3.55. Calificaciones asignadas al criterio de acuicultura

Nota: Elaboración propia

Diversidad en la industria

La industria manufacturera constituye la segunda mayor demanda de agua en el país, debido a la necesidad de este recurso para la producción de bienes y el mantenimiento de las instalaciones, en este contexto el uso de agua tratada en lugar de agua potable emerge como una solución efectiva para reducir el estrés hídrico, además de que el biocombustible o la biomasa generada pueden ser utilizados en la maquinaria industrial o para la producción de otros subproductos.

Para evaluar esta situación, se emplea la metodología propuesta por Morgan y otros (2023) en su obra *Tratamiento y Reúso de Agua Residual Municipal: Metodología para Estimar el Potencial de Reúso en una Región y Evaluar el Desempeño de Plantas de Tratamiento*, la cual se basa en el estudio de Marston et al. (2018) quien, proporciona una base de datos sobre la huella hídrica de industrias manufactureras, clasificadas en 378 subsectores económicos identificados por el código industrial SCIAN, que facilita el cálculo del potencial de reutilización del agua tratada en cada industria.

Así, en la tabla 3.6 se ha elaborado un listado de las industrias manufactureras con 51 o más empleados para cada área de estudio, basado en el DENU, estas industrias han sido clasificadas y tabuladas según su categoría, permitiendo así la evaluación de la diversidad industrial local. En consecuencia, en los municipios donde no se identifiquen establecimientos pertenecientes a algún subsector, la celda correspondiente se representará de color blanco por lo que un menor número de celdas coloreadas indica una menor diversidad industrial, finalmente, tanto una baja diversidad como una escasa presencia de industrias se traducirán en una calificación más baja.

Tabla 3.5. Diversidad en la industria

Clave DENUÉ	Categoría	Unidades económicas					
		Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
311	Industria alimentaria	19	15	22	14	14	19
312	Industria de las bebidas y del tabaco	2	2	0	3	5	4
313	Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles	1	0	0	0	2	0
314	Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	0	0	0	1	3	0
315	Fabricación de prendas de vestir	18	0	1	1	14	0
316	Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	0	0	0	0	1	0
321	Industria de la madera	1	3	3	3	1	0
322	Industria del papel	3	2	5	8	2	6
323	Impresión e industrias conexas	2	4	9	3	2	2
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	1	1	1	0	0	0
325	Industria química	5	2	6	9	1	8
326	Industria del plástico y del hule	2	8	36	12	9	10

Clave DENU	Categoría	Unidades económicas					
		Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	12	8	6	8	1	0
331	Industrias metálicas básicas	7	3	1	4	6	1
332	Fabricación de productos metálicos	13	6	18	16	12	11
333	Fabricación de maquinaria y equipo	5	5	7	8	7	7
334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	0	10	7	10	3	0
335	Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	3	5	8	6	2	5
336	Fabricación de equipo de transporte	8	21	54	54	31	27
337	Fabricación de muebles, colchones y persianas	12	3	2	3	5	0
339	Otras industrias manufactureras	0	0	2	10	2	0
Total		114	98	188	173	123	100

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENU). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denu/default.aspx>

El análisis de la tabla anterior permite identificar que Celaya presenta la menor diversidad industrial, ya que carece de establecimientos en 10 categorías distintas lo que resultó en una puntuación unitaria. Hermosillo, aunque tiene una menor cantidad de unidades económicas, sólo carece de instalaciones para 5 tipos de industrias entonces obtendrá una puntuación de 2.

Por otro lado, Aguascalientes, a pesar de contar con menos de 150 industrias, muestra la mayor diversidad al tener únicamente una categoría sin establecimientos, relacionada con la fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón, lo que le otorga una puntuación de 4, igual que Chihuahua y El Marqués, dado que estos poseen una alta cantidad de industrias manufactureras y únicamente presentan faltantes en 3 o 4 categorías. Finalmente, Gómez Palacio que tiene menos de 150 industrias y ausencia en 4 categorías, recibirá una puntuación de 3. Figura 3.57



Figura 3.56. Calificaciones asignadas al criterio de diversidad en la industria

Nota: Elaboración propia

Lavado y lubricado de automóviles

Como el lavado de automóviles demanda una cantidad significativa de agua tratada, es relevante incorporar este factor en la matriz de evaluación, con la sugerencia de focalizar el análisis en establecimientos con al menos 6 empleados, con fundamento en la metodología propuesta por Morgan y otros (2023) antes mencionada. De este modo, a mayor número de estos establecimientos, más potencial para el reúso de agua tratada, lo que se tradujo en una valoración alta.

Lavado y lubricado de automóviles, 2023



Figura 3.57. Lavado y lubricado de automóviles 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

De acuerdo con la figura 3.58, Aguascalientes tiene 51 establecimientos dedicados al lavado de vehículos por lo tanto recibirá una calificación de 5 puntos, seguido de Hermosillo, que cuenta con 39 negocios de esta índole y obtendrá una puntuación de 4. Mientras que, Chihuahua y Celaya serán valorados con 2 puntos debido a que cuentan con menos de 20 establecimientos destinados a este sector, por su parte Gómez Palacio y Celaya recibirán 1 punto, pues reflejan el menor potencial de reúso de agua tratada. Figura 3.59



Figura 3.58. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de lavado y lubricado de automóviles

Nota: Elaboración propia

Servicios educativos

Estas instituciones se consideran en la evaluación debido a que la limpieza de sus instalaciones, el riego de sus áreas verdes y la descarga de sus baños pueden realizarse con agua tratada, por lo tanto, la poca presencia de establecimientos educativos en una región se evaluará de manera negativa. Para facilitar la comparación, se elaboró la gráfica de la figura 3.60 en la cual se muestra el número de escuelas de nivel medio superior, superior y de oficios, artes, deportes e idiomas, con 11 o más empleados. Las características de estas instituciones se tomaron como referencia debido a la metodología propuesta por el Dr. Juan Manuel Morgan (2023).

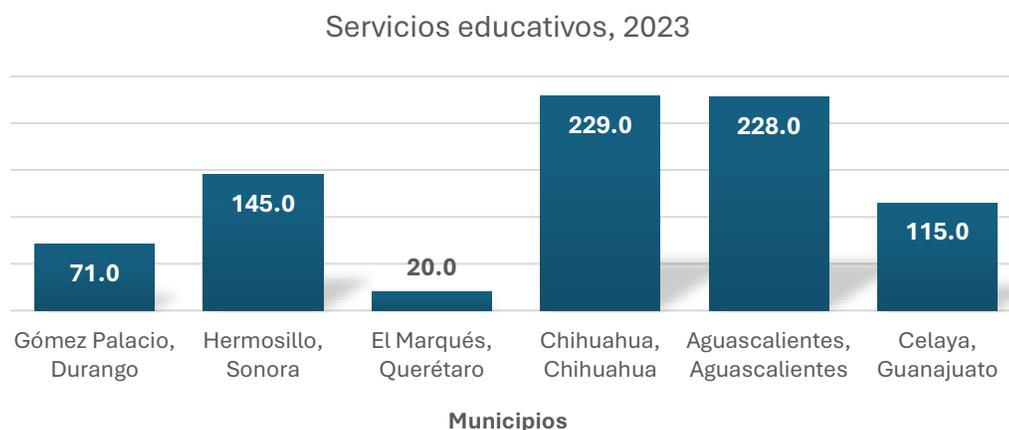


Figura 3.59. Servicios educativos 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Aunado a lo anterior y siguiendo el método que se ha realizado con la mayoría de los criterios, para asegurar la objetividad de la evaluación se ha dividido en cinco intervalos la diferencia entre el número de establecimientos del valor más alto y el más bajo presentado por los municipios. Por ejemplo, Chihuahua y Aguascalientes recibirán una puntuación de 5 por tener más de 186 instituciones, mientras que Hermosillo obtendrá una calificación de 4 al situarse en el segundo rango. A su vez, Celaya obtendrá 3 puntos, Gómez Palacio 2 y El Marqués 1.

Ahora bien, ningún municipio recibirá una valoración de 0, ya que este rango, en la mayoría de los casos, se reserva para regiones donde no exista información o establecimientos del criterio a evaluar. Figura 3.61



Figura 3.60. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de servicios educativos

Nota: Elaboración propia

Otros servicios municipales preexistentes con potencial de reúso del agua

El riego de áreas verdes, campos de golf, centros deportivos, panteones e invernaderos requiere un suministro constante de agua, por lo que el uso de agua tratada para estas actividades podría reducir la presión hídrica del municipio. Consecuentemente, la demanda de agua tratada será mayor en aquellos municipios con más servicios de este tipo, resultando en una evaluación más favorable.

- *Áreas verdes*

Para elaborar la infografía de la figura 3.62, se localizaron todos los parques y jardines en los municipios utilizando la aplicación Google Maps. Una vez identificados, se procedió con la evaluación, considerando también aquellas áreas verdes que, aunque no estuvieran específicamente designadas como parques o jardines, eran claramente visibles en el mapa.

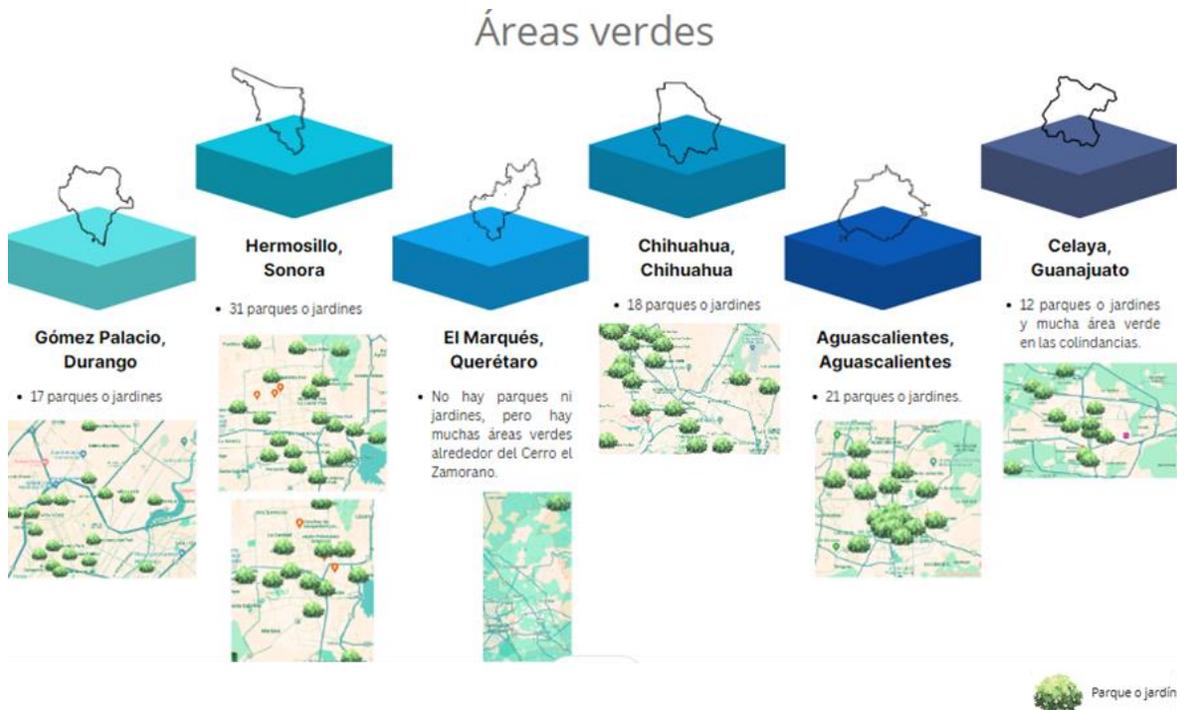


Figura 3.61. Áreas verdes 2024.

Nota: Elaboración propia con datos obtenidos de Google Maps 2024

La evaluación se realizó de la siguiente manera: Hermosillo, con aproximadamente 31 parques, obtuvo una valoración de 5 puntos, Aguascalientes recibió 4 puntos al contar con 21 parques. Por su parte, Gómez Palacio y Chihuahua, con 15 y 12 parques respectivamente, obtuvieron 3 puntos cada uno, esa misma puntuación le fue asignada a Celaya, pues, aunque tiene solo 12 parques, presenta una gran cantidad de áreas verdes circundantes.

Un caso similar al de Celaya se presenta en El Marqués que tiene únicamente un parque, pero, a su vez, cuenta con una considerable presencia de áreas verdes, entonces recibió 2 puntos. Figura 3.63



Figura 3.62. Calificaciones asignadas al criterio de áreas verdes

Nota: Elaboración propia

- Campos de golf, centros deportivos, panteones, jardines botánicos, zoológicos y parques con instalaciones recreativas

La figura 3.64 cuantifica la existencia de campos de golf, centros deportivos, cementerios, jardines botánicos, zoológicos y parques recreativos en los municipios. La importancia de esta información reside en la posibilidad de utilizar agua tratada del nuevo proyecto para el riego de sus áreas verdes, lo que ayudaría a mitigar la escasez de recursos hídricos que afecta a la región, este enfoque no solo optimizaría el uso del agua, sino que también promovería la sostenibilidad y la conservación del recurso hídrico en la zona.

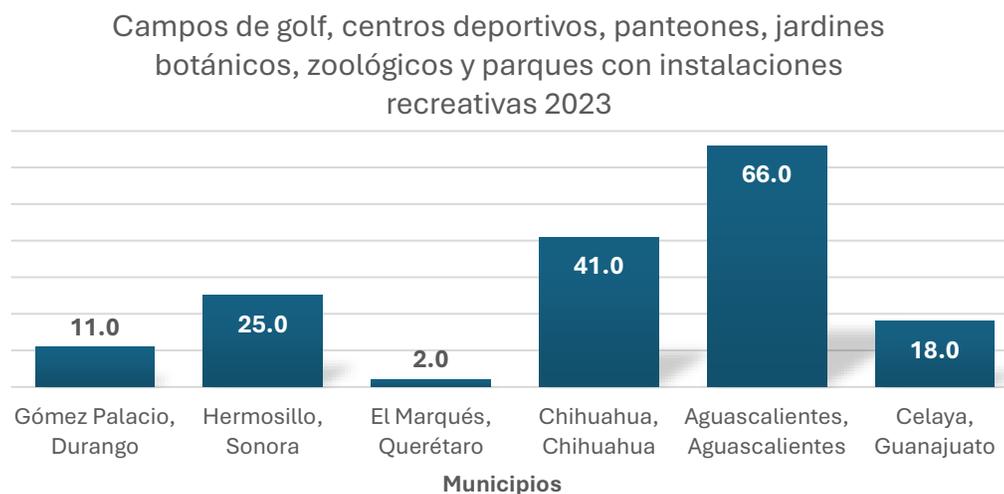


Figura 3.63. Campos de golf, centros deportivos, panteones, jardines botánicos, zoológicos y parques con instalaciones recreativas 2023

Nota: Elaboración propia con datos recabados de: INEGI. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Para la valoración de cada municipio, se comenzó otorgando 1 punto a Gómez Palacio y El Marqués, debido a que presentan menos de 15 lugares de este tipo; después, se asignaron 2 puntos a Celaya y Hermosillo, con entre 15 y 27 sitios. Chihuahua, con casi el doble de esta cantidad, recibió 4 puntos y, por último, Aguascalientes obtuvo 5 puntos por tener el mayor número de estas instalaciones en su municipio. Figura 3.65



Figura 3.64. Intervalos de evaluación y calificaciones asignadas al criterio de campos de golf, centros deportivos, panteones, jardines botánicos, zoológicos y parques con instalaciones recreativas

Nota: Elaboración propia

Invernaderos

La relevancia de esta información radica en la posibilidad de utilizar agua tratada del nuevo proyecto para el riego de los invernaderos, por tal motivo, la figura 3.66 presenta la distribución de invernaderos en los municipios, identificados a través de la aplicación Google Maps.



Figura 3.65. Invernaderos 2024.

Nota: Elaboración propia con datos obtenidos de Google Maps 2024

Con base en esta información, se otorgaron 5 puntos a Chihuahua, Hermosillo y Aguascalientes, ya que presentan más de 16 invernaderos. El Marqués recibió una ponderación de 2 puntos, mientras que Gómez Palacio y Celaya, con solo 6 invernaderos, obtuvieron una valoración de 1 punto. Figura 3.67



Figura 3.66. Calificaciones asignadas al criterio de invernaderos

Nota: Elaboración propia

3.3. Resultados de la aplicación

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la matriz de decisión propuesta, que, al incorporar criterios técnicos, ambientales y sociales, busca convertirse en una herramienta relevante y útil para la selección óptima del emplazamiento de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Por ello, en las siguientes tablas se podrá observar cómo la aplicación de esta matriz permite una evaluación multicriterio, proporcionando un análisis comparativo estructurado y objetivo, que aborda los factores esenciales para asegurar la viabilidad del proyecto en cada sitio potencial.

Conforme a lo anterior, las Tablas 3.7, 3.8 y 3.9 muestran de manera gráfica los resultados finales de la aplicación de la matriz, su diseño está orientado en facilitar la visualización clara y precisa de la situación de cada región evaluada. De manera que, finalmente se consiga una comparación sencilla y comprensible entre las diferentes opciones y contribuya a una mejor identificación de las fortalezas y debilidades de cada sitio, lo que resulta clave para la planificación estratégica de proyectos.

Además, el enfoque propuesto no solo justifica la viabilidad de instalar una PTAR en cada municipio evaluado, sino que también promueve la toma de decisiones informadas. Dado que no todos los involucrados en el proceso tienen conocimientos técnicos sobre infraestructura hídrica, la matriz ayuda a fijar prioridades mediante consenso, garantizando que cada aspecto sea ponderado según su relevancia dentro del proyecto.

Tabla 3.6. Matriz de decisión completa con las puntuaciones finales

			Puntuación					
								
#	Criterios	Importancia	Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
Demografía	1 Población (Número de habitantes) El criterio de población se puntuará alto en áreas con más residentes, debido a la mayor generación de aguas residuales que requiere una planta de tratamiento eficiente para mantener la salud pública y el medio ambiente.	7%	1	5	1	5	5	3
	2 Densidad de población (Habitantes/Km²) Se otorgará una valoración positiva a los sitios con alta densidad poblacional debido al incremento en la demanda de agua para necesidades humanas, agrícolas e industriales, haciendo esencial una fuente adecuada para cubrir estas demandas.		3	1	2	1	5	5
	3 Tasa de crecimiento media anual (%) Este índice refleja el incremento en las demandas de infraestructura, recursos, servicios y empleo, haciendo aún más pertinente la implementación de una planta de tratamiento para satisfacer necesidades hídricas y laborales, resultando en una calificación favorable con el aumento de la tasa de crecimiento.		1	1	5	1	1	1
Aspectos sociales	4 Grado promedio de escolaridad [años] Un alto nivel educativo facilita la comunicación, aceptación y colaboración en proyectos de gestión del agua, asegurando que la comunidad cumpla con normativas y adopte prácticas adecuadas, por lo cual se otorgará una valoración más alta a los lugares con mayor promedio de escolaridad.	8%	1	5	3	5	3	1
	5 Hogares con conexión a internet (%) La falta de internet dificulta la supervisión en tiempo real y la participación comunitaria en proyectos de gestión del agua, por lo tanto, un alto porcentaje de hogares con acceso a internet indicará la idoneidad del lugar para la ejecución del proyecto y resultará en una evaluación favorable.		1	5	4	5	5	3
	6 Viviendas particulares habitadas con agua entubada (%) Un elevado número de hogares con agua entubada indica la infraestructura necesaria para el transporte y tratamiento efectivo del agua, sugiriendo la idoneidad del lugar para el proyecto y una capacidad técnica favorable para su mantenimiento a largo plazo, mientras que la falta de esta infraestructura podría señalar dificultades en la implementación y sostenibilidad del proyecto.		3	5	1	5	5	4
	7 Hogares con servicio eléctrico (%) Una planta de tratamiento de aguas residuales requiere mucha energía eléctrica, por lo que desarrollar el proyecto en áreas con baja cobertura eléctrica sería insostenible y reflejaría un bajo desarrollo socioeconómico, dificultando el acceso a servicios básicos. Por lo tanto, una alta cobertura eléctrica en hogares indicará la idoneidad del sitio para el proyecto y será evaluada favorablemente.		5	1	3	4	5	3

Puntuación



Aspectos geográficos, ambientales y contexto hídrico

#	Criterios	Importancia	Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
8	<p>Temperatura [°C] La temperatura ambiente afecta la velocidad de degradación de procesos biológicos en el tratamiento del agua, por lo que es crucial evaluar la temperatura promedio del sitio. Lugares con climas muy cambiantes o temperaturas extremas serán descartados debido a su impacto negativo en la eficiencia de la planta de tratamiento.</p>	25%	5	0	5	5	5	5
9	<p>Situación de los recursos hídricos La cantidad y calidad de los recursos hídricos son cruciales para evaluar la viabilidad de una planta de tratamiento; sitios con recursos escasos e intermitentes recibirán una puntuación favorable, indicando la necesidad de estrategias para crear fuentes adicionales de suministro.</p>		4	5	2	3	2	2
10	<p>Obras hidráulicas existentes La presencia de una extensa red de distribución de agua, presas y embalses facilitará el transporte del agua tratada hacia áreas con potencial de reutilización, lo que será evaluado positivamente.</p>		2	0	3	2	2	1
11	<p>Cobertura de drenaje y alcantarillado (%) Una adecuada cobertura de sistemas de drenaje y alcantarillado facilita la recolección y transporte de aguas residuales, crucial para el tratamiento y reutilización, por lo que una menor cobertura se refleja en una puntuación reducida.</p>		2	1	1	5	5	3
12	<p>Tomas de agua en operación para abastecimiento público Más instalaciones de captación de agua incrementan las oportunidades de distribución, por lo que se evaluará positivamente a los sitios con un alto número de tomas de agua.</p>		1	2	1	4	5	2
13	<p>Puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento Un alto número de puntos de descarga de aguas residuales sin tratar indica una mayor necesidad de sistemas de tratamiento para mitigar la contaminación y proteger los ecosistemas acuáticos, lo que resulta en una evaluación positiva para la implementación de nuevos sistemas.</p>		0	1	4	1	5	2
14	<p>Plantas de tratamiento de aguas residuales capacidad y caudal en operación La puntuación disminuirá con un mayor número de plantas en el sitio, ya que aunque una mayor cantidad puede indicar buena cobertura, también puede señalar saturación o redundancia, afectando la viabilidad de nuevas instalaciones.</p>		3	2	5	2	1	4
15	<p>Calidad del agua tratada que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021 Se evaluará positivamente la escasa disponibilidad de agua tratada que cumpla con los límites de la NOM-001-SEMARNAT-2021, ya que indica la necesidad de mejorar el equipamiento para el saneamiento del agua.</p>		0	0	0	0	0	0

Puntuación



	#	Criterios	Importancia	Puntuación					
				Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
Suelo y accesibilidad al sitio	16	<p>Nivel de sequía</p> <p><i>Este indicador evalúa las condiciones de sequía mediante índices de precipitación, salud de la vegetación, humedad del suelo, temperaturas, y nivel de agua en presas, asignando una puntuación alta a los municipios con sequía excepcional (D4).</i></p>	25%	0	5	3	4	1	2
	17	<p>Disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR</p> <p><i>El análisis de terrenos para una PTAR usará la plataforma Inmuebles 24 para identificar y clasificar terrenos de al menos 10,000 m², seleccionando aquellos que cumplan con criterios de distancia a fuentes de agua y áreas residenciales, y lejanía de otras plantas de tratamiento, incrementando la evaluación de cada municipio según la cantidad de terrenos disponibles que cumplan con estos criterios.</i></p>		0	2	5	3	1	4
	18	<p>Accesibilidad al sitio</p> <p><i>Este rubro complementa al anterior evaluando la accesibilidad de los terrenos seleccionados mediante la identificación de vialidades. Los sitios con más terrenos accesibles serán mejor evaluados por facilitar la logística de construcción y operación de la PTAR.</i></p>		0	4	2	4	1	5

Puntuación



	#	Criterios	Importancia	Puntuación					
				Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
Aspectos económicos y servicios preexistentes	19	<p>Actividad bancaria y plazas comerciales</p> <p>La actividad bancaria y los centros comerciales indican el desarrollo económico de una región. La presencia de bancos facilita el acceso a financiamiento para proyectos de tratamiento de aguas residuales, mientras que los centros comerciales demandan servicios esenciales y mejoran la infraestructura, lo cual favorece la logística y viabilidad del proyecto, resultando en una calificación elevada para las áreas con alta presencia de estos elementos.</p>	35%	5	3	0	4	2	1
	20	<p>Población económicamente activa</p> <p>Una mayor presencia de personas económicamente activas se traducirá en una evaluación favorable, reflejando la producción, generación de ingresos y prosperidad regional.</p>		1	2	5	3	3	2
	21	<p>Superficie sembrada anual</p> <p>Un mayor número de hectáreas agrícolas aumenta el potencial para el reúso de agua tratada, recibiendo así una mayor ponderación</p>		5	4	1	1	1	1
	22	<p>Servicios relacionados con la agricultura</p> <p>Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) pueden optimizar el uso del agua y pueden reducir residuos al vender subproductos como fertilizantes, generando ingresos que compensan costos operativos, logrando así la sostenibilidad del proyecto. Por ello, la ponderación disminuye si hay menos unidades económicas dedicadas a los servicios agrícolas.</p>		0	5	0	0	0	3
	23	<p>Existencias de ganado porcino</p> <p>Se recopilan datos sobre la cantidad de ganado porcino, este aspecto es relevante para la ubicación de una planta de tratamiento ya que facilita la valorización de residuos y la reutilización de agua tratada. Una mayor ponderación se asignará a las regiones con más ganado.</p>		1	5	3	1	1	3
	24	<p>Existencias de aves de corral</p> <p>La avicultura es importante para la ubicación de una planta de tratamiento debido a su potencial para valorizar residuos y reutilizar agua tratada, las mayores puntuaciones serán asignadas a las regiones con mayor cantidad de aves.</p>		3	2	2	1	5	1
	25	<p>Servicios relacionados con la cría y explotación de animales</p> <p>Se evaluó el número de establecimientos dedicados a servicios relacionados con la cría y explotación de animales en cada municipio. Una mayor cantidad de estos establecimientos indica una mejor oportunidad para la valorización de residuos y reutilización de agua tratada, por lo que se asignará una calificación más alta a los municipios con más establecimientos.</p>		0	0	1	0	0	0

Puntuación



	#	Criterios	Importancia	Puntuación					
				Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
Aspectos económicos y servicios preexistentes	26	Acuicultura <i>Las microalgas, los residuos orgánicos y el agua residual, producto de la planta de tratamiento, se convierten en recursos que se pueden reutilizar y valorizar en dicha industria, cuantos más establecimientos existan en la región mayor será la calificación.</i>	35%	0	5	1	1	1	1
	27	Diversidad de la industria <i>Se elaboró un listado de industrias manufactureras con 51 o más empleados, utilizando el DENUE, clasificadas por categoría para evaluar la diversidad industrial local; municipios sin industrias en algún subsector se indicarán en blanco, mientras menor diversidad y presencia industrial exista en el municipio se asignará una calificación más baja.</i>		3	2	4	4	4	1
	28	Lavado y lubricado de automóviles y camiones <i>Se contabilizará el número de establecimientos de lavado de autos con al menos 6 empleados, un mayor número de estos establecimientos indicará un mayor potencial de reúso de agua tratada y resultará en una valoración alta.</i>		1	4	1	2	5	2
	29	Servicios educativos <i>Se consideran las instituciones educativas con 11 o más empleados en la evaluación debido a que pueden utilizar agua tratada para limpieza de instalaciones, riego y descarga de sanitarios; por lo cual, una baja presencia de estas instituciones resultará en una evaluación negativa.</i>		2	4	1	5	5	3
	30	Áreas verdes <i>El uso de agua tratada para riego en áreas verdes puede disminuir la presión hídrica del municipio, así, una mayor cantidad de estos servicios se traducirá en una evaluación favorable.</i>		3	5	2	3	4	3
	31	Campos de golf, centros deportivos, panteones, jardines botánicos, zoológicos y parques con instalaciones recreativas <i>El empleo de agua tratada para el riego en campos de golf, instalaciones deportivas y cementerios puede reducir la presión hídrica del municipio; por lo tanto, un mayor número de estos servicios resultará en una valoración positiva.</i>		1	2	1	4	5	2
	32	Invernaderos <i>El uso de agua tratada para el riego en invernaderos puede disminuir la presión sobre los recursos hídricos del municipio; así, una mayor cantidad de estos servicios llevará a una calificación favorable.</i>		1	5	2	5	5	1

Nota: Elaboración propia

Tabla III.7. Puntuaciones ponderadas

		Puntuación ponderada							
									
	#	Criterios	Importancia	Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato
Demografía	1	Población (Número de habitantes)	7%	2.33%	3.27%	3.73%	3.27%	5.13%	4.20%
	2	Densidad de población (Habitantes/Km ²)							
	3	Tasa de crecimiento media anual (%)							
Aspectos sociales	4	Grado promedio de escolaridad [años]	8%	4.00%	6.40%	4.40%	7.60%	7.20%	4.40%
	5	Hogares con conexión a internet (%)							
	6	Viviendas particulares habitadas con agua entubada (%)							
	7	Hogares con servicio eléctrico (%)							
Aspectos geográficos, ambientales y contexto hídrico	8	Temperatura [°C]	25%	10.63%	6.88%	13.13%	13.75%	15.63%	11.88%
	9	Situación de los recursos hídricos							
	10	Obras hidráulicas existentes							
	11	Cobertura de drenaje y alcantarillado (%)							
	12	Tomas de agua en operación para abastecimiento público							
	13	Puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento							
	14	Plantas de tratamiento de aguas residuales capacidad y caudal en operación							
	15	Calidad del agua tratada que cumple con la NOM-001-SEMARNAT-2021							
Suelo y accesibilidad al sitio	16	Nivel de sequía	25%	0.00%	18.33%	16.67%	18.33%	5.00%	18.33%
	17	Disponibilidad de terrenos para la disposición de la PTAR							
	18	Accesibilidad al sitio							

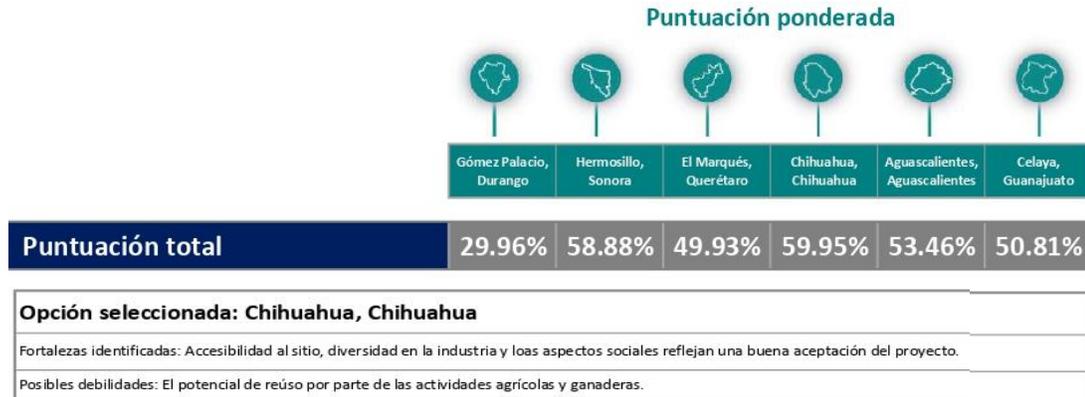
Puntuación ponderada



	#	Criterios	Importancia	Puntuación ponderada						
				Gómez Palacio, Durango	Hermosillo, Sonora	El Marqués, Querétaro	Chihuahua, Chihuahua	Aguascalientes, Aguascalientes	Celaya, Guanajuato	
Aspectos económicos y servicios preexistentes	19	Actividad bancaria y plazas comerciales	35%							
	20	Población económicamente activa								
	21	Superficie sembrada anual								
	22	Servicios relacionados con la agricultura								
	23	Existencias de ganado porcino								
	24	Existencias de aves de corral								
	25	Servicios relacionados con la cría y explotación de animales								
	26	Acuicultura			13.00%	24.00%	12.00%	17.00%	20.50%	12.00%
	27	Diversidad de la industria								
	28	Lavado y lubricado de automóviles y camiones								
	29	Servicios educativos								
	30	Áreas verdes								
	31	Campos de golf, centros deportivos, panteones, jardines botánicos, zoológicos y parques con instalaciones recreativas								
32	Invernaderos									

Nota: Elaboración propia

Tabla 3.8. Resultado final de la aplicación de la Matriz Pugh



Nota: Elaboración propia

Finalmente, la matriz de decisión identificó a Chihuahua como el municipio más adecuado para la instalación de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), dado su limitada capacidad actual para el tratamiento del agua residual por lo que, la construcción de esta infraestructura abordaría una necesidad crítica en la región y podría reducir el consumo de agua potable en actividades como el riego y los procesos industriales. Esto a su vez, terminaría contribuyendo con la preservación de los recursos hídricos, así como, con la disminución de costos operativos y ambientales.

En contraste, Gómez Palacio se destacó como el municipio menos adecuado para la instalación de una PTAR debido a la inexistencia de terrenos aptos para su disposición lo que inviabiliza la construcción por los desafíos geográficos y urbanos que esto conlleva, además, esto también obstaculiza la integración en el entorno existente sin afectar negativamente a la comunidad local.

Es importante aclarar que esta conclusión no implica que en el municipio de Gómez Palacio no necesite gestionar el agua de manera adecuada, más bien, dado el tamaño actual de su población y las características del lugar, podría ser más apropiado considerar soluciones como la rehabilitación de las plantas de tratamiento existentes en lugar de construir una nueva. Y es que, la aplicación de la matriz de decisión no solo permite identificar el sitio ideal para ubicar una PTAR, sino que también ayuda a prever otras situaciones. Por ejemplo, aunque en este momento no sea urgente construir nuevas plantas de tratamiento en Gómez Palacio, sería prudente comenzar a buscar un terreno adecuado para su futura instalación, ya que actualmente no existe un sitio disponible con las características adecuadas donde se pueda llevar a cabo la construcción de este tipo de infraestructura.

IV. Conclusiones

- Al hacer un ejercicio de aplicación, la matriz de decisión reveló que Chihuahua sería el municipio más adecuado para el emplazamiento de la PTAR por su capacidad limitada de tratamiento actual y al alto potencial de reutilización del agua tratada en actividades industriales y de riego. Esta elección respaldaría la conservación de recursos hídricos y destaca la importancia de basar la decisión con criterios fundamentados y objetivos.
Cabe destacar que, para mejorar la precisión del proceso de evaluación, es recomendable ajustar el modelo considerando variaciones en los puntajes de los criterios y alternativas con el uso de métodos probabilísticos. Además, ante la falta de datos de campo, se sugiere realizar estudios de laboratorio adicionales para evaluar la calidad del agua tratada y el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- Por otro lado, para la elaboración de la matriz, se identificaron criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales relevantes para la selección del emplazamiento de la PTAR que incluyen: la capacidad de tratamiento existente, la disponibilidad de terrenos, la proximidad a cuerpos de agua y algunos indicadores que reflejan la posible aceptación social, entre otros que son relevantes para proyectar el éxito operativo y la integración efectiva de la planta. Asimismo, se evaluó el potencial de tecnologías innovadoras, como los procesos microalgales, que mejoran la eficiencia del tratamiento, promueven la economía circular del agua, favorecen la conservación de recursos y la reducción de impactos ambientales.
- Por otra parte, la implementación de la matriz de decisión permitió realizar un análisis comparativo multicriterio mediante una estructura clara y sistemática para seleccionar el sitio más adecuado para una planta de tratamiento de agua residual (PTAR); con esta herramienta se evaluó tanto la factibilidad técnica y económica como el potencial de reutilización del agua tratada en los seis municipios analizados. De esta manera se consigue demostrar que esta metodología contribuye a realizar una toma de decisiones objetiva y transparente pues es capaz de adaptarse a las necesidades específicas de cada región y, a su vez, priorizar la sostenibilidad.
- Por último, el ejercicio de aplicación de la matriz también reflejó la importancia llevar a cabo la reutilización del agua tratada, ya que, dentro de algunos criterios, como los de actividades económicas y áreas verdes, se consideraba el potencial de reúso de este recurso. De esta manera se fomenta la conservación de recursos hídricos al reducir la demanda de agua potable lo que resulta en beneficios tanto económicos como ambientales.

Glosario

ACTIVIDAD ECONÓMICA

Acción llevada a cabo por individuos, empresas o instituciones con el fin de generar bienes y servicios. Dentro de la matriz de decisión para una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ayuda evaluar el potencial de la reutilización del agua en actividades industriales.

AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

Aguas municipales de composición variada provenientes de usos industriales, comerciales, agrícolas y domésticos.

AGUA RESIDUAL TRATADA

Efluente de un sistema de tratamiento después de la eliminación de contaminantes.

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

Reutilización de residuos para obtener beneficios económicos y ambientales, en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, esta estrategia maximiza el uso de subproductos como lodos, fomentando así la economía circular.

BIOGÁS

El gas renovable está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales lo genera a través de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, su uso durante el proceso de tratamiento reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

BIOMASA

La materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales y en los lodos utilizados para su tratamiento, puede ser aprovechada como una fuente de energía.

ECONOMÍA CIRCULAR DEL AGUA

Modelo de producción y consumo que se enfoca en reutilizar las aguas residuales para disminuir el uso del agua potable y reducir los impactos ambientales. También busca valorizar los residuos generados en el tratamiento del agua transformándolos en nuevos recursos.

EVALUACIÓN

Proceso para valorar un criterio o proyecto, en una matriz de decisión, evaluar los criterios es esencial para tomar decisiones informadas.

MATRIZ DE DECISIÓN O MATRIZ PUGH

Instrumento usado para facilitar la toma de decisiones asertivas, racionales y fundamentadas en la realidad mediante el análisis de distintos criterios y la evaluación de diversas opciones.

MICROALGAS

Organismos unicelulares fotosintéticos que se cultivan en aguas residuales para generar energía y así contribuir en la disminución de la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero.

NUTRIENTES

Compuestos como el nitrógeno y fósforo presentes en aguas residuales, en las Plantas de Tratamiento pueden recuperarse y reutilizarse como fertilizantes agrícolas, convirtiendo un residuo en un recurso valioso.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Infraestructura creada para eliminar contaminantes de las aguas residuales, con el fin de mejorar la calidad del agua antes de su liberación o reutilización.

SECTOR DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA

Clasificación de las unidades económicas según su naturaleza: primaria (agricultura), secundaria (industria) y terciaria (servicios).

TAMAÑO DEL ESTABLECIMIENTO

La clasificación de una empresa o negocio según su cantidad de empleados. Su importancia en este análisis se debe a que el tamaño del establecimiento refleja el potencial de reutilización del agua tratada en las industrias.

UNIDAD ECONÓMICA

Una entidad se involucra en la producción, comercio o prestación de servicios.

Referencias Bibliohemerográficas

Web

AGQLabs. (20 de marzo de 2024). Tratamiento de aguas residuales y su análisis en México. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://agqlabs.mx/2024/03/20/analisis-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Álvarez, B. (2 de abril de 2024). La crisis de agua en México: Desafío central en las elecciones presidenciales 2024. IAgua. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/crisis-agua-mexico-desafio-central-elecciones-presidenciales-2024>

BANXICO. (2021). Algunos conceptos sobre el mercado laboral. Banco de México (BANXICO). Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.banxico.org.mx/>

BBVA (23 de abril de 2024). Agua ya no pasa por mi casa: una revisión de la situación hídrica actual. BBVA Research. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.bbva.com/publicaciones/mexico-agua-ya-no-pasa-por-mi-casa-una-revision-de-la-situacion-hidrica-actual/>

BM. (19 de marzo de 2020). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. Banco Mundial (BM). Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Boshell, C. (2 de marzo de 2022). Estudio socioeconómico, ¿qué son?, ¿qué tener en cuenta para su diseño y ejecución? LINKEDIN. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://es.linkedin.com/pulse/estudio-socioecon%C3%B3mico-qu%C3%A9-son-tener-en-cuenta-para-y-boshell-norman>

Club IAGUA (17 de septiembre de 2023). México: El agua tratada como una oportunidad de reúso. IAgua. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de

<https://www.iagua.es/blogs/cesar-osmar-navarro/mexico-agua-tratada-como-oportunidad-reuso>

Club IAGUA. (10 de octubre de 2023b). La economía circular del agua, tendencia que promueve una gestión integral. Recuperado el 12 de abril de 2024 de: <https://www.iagua.es/noticias/gobierno-argentina/economia-circular-agua-tendencia-que-promueve-gestion-integral>

Club IAGUA (17 de enero de 2017). El alcantarillado sanitario, clave para mejorar la calidad de vida de los paraguayos. IAgua. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.iagua.es/noticias/paraguay/mopc/17/01/17/alcantarillado-sanitario-clave-mejorar-calidad-vida-paraguayos#:~:text=Se%20trata%20de%20una%20red,transporte%20de%20las%20aguas%20residuales>.

Colegio de México. (2024) Agricultura. Diccionario del español de México. <https://dem.colmex.mx/Ver/agricultura>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (12 de julio de 2024). Estadísticas ambientales y de cambio climático para América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=934230&p=6736670>

Congreso de la Ciudad de México. (25 de abril de 2023). Congreso CDMX solicita verificar uso de agua en autolavados de MC [Magdalena Contreras]. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.congresocdmx.gob.mx/comsoc-congreso-cdmx-solicita-verificar-uso-agua-autolavados-mc-4359-1.html>

Cordera, R. (2015). Tasa de crecimiento (media anual de la población). Programa Universitario de Estudios del Desarrollo (PUED). <http://pued.unam.mx/cordera/3-Estadis/poblacion/pp06.html>

COPARMEX. (14 de febrero de 2024). México en crisis por falta de agua. COPARMEX. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://coparmex.org.mx/mexico-en-crisis-por-falta-de-agua/>

Gobierno de México. (25 de junio de 2018). Tratamiento de Aguas Residuales. FONATUR. Recuperado el 20 de abril de 2024 de

<https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162692#:~:text=de%20Aguas%20Residuales,El%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%2C%20es%20un%20servicio%20que%20consiste,la%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20establecidas.>

IMCO. (31 de enero de 2024). La gestión del agua no es una prioridad en México. IMCO. Recuperado el 20 de abril de 2024 de <https://imco.org.mx/la-gestion-del-agua-no-es-una-prioridad-en-mexico/>

IMTA. (18 de junio de 2019). ¿Qué son las sequías? Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-son-las-sequias?idiom=eshttps://smn.conagua.gob.mx/es/categorias-de-sequia>

INCOTEX. (30 de enero de 2024). Abordando la crisis del agua en México: Retos, soluciones y perspectivas futuras. Grupo INCOTEX. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://grupoincotex.com/blog/crisis-del-agua-en-mexico/>

INEGI. (2024). Industria manufacturera. Economía y sectores productivos. <https://www.inegi.org.mx/temas/manufacturas/>

INEGI (2023). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/endutih/2023/>

INEGI (2023b). Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG) 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/encig/2023/>

INEGI. (s. f.). Densidad de población. Cuéntame de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad.aspx?tema=P>

INEGI (s. f. b). Geografía y Medio ambiente. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/>

INEGI. (s. f.c). Suelo. Cuéntame de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

<https://www.cuentame.inegi.org.mx/territorio/suelo.aspx?msckid=43cbb938b1f411ecb766bc9eac092cb4>

Ingeniería y proyectos LTDA. (s. f.). ¿Qué es el Recurso Hídrico?

<https://ingproy.com/que-es-el-recurso-hidrico/#:~:text=Los%20recursos%20h%C3%ADdricos%20son%20definidos,para%20satisfacer%20una%20demanda%20identificable.>

Navarro, C. (7 de septiembre de 2023). México: El agua tratada como una oportunidad de reúso. IAgua. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.iagua.es/blogs/cesar-osmar-navarro/mexico-agua-tratada-como-oportunidad-reuso>

Núñez, J. (5 de abril de 2024). Los desafíos de México frente a la crisis por escasez de agua. IBERO Prensa. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://ibero.mx/prensa/opinion-los-desafios-de-mexico-frente-la-crisis-por-escasez-de-agua>

SADER. (9 de abril de 2019). Acuicultura, producción y conservación de organismos acuáticos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos>

SEMARNAT (2013). El medio ambiente en México. Informe 2013-2014. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_2.html

SEMARNAT. (s. f.). Grado promedio de escolaridad. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes16/indicadores/01_contexto/4.1.1.html#:~:text=El%20grado%20de%20promedio%20de,la%20poblaci%C3%B3n%20de%20un%20pa%C3%ADs.

SEMARNAT. (s. f.b). Población con acceso a agua potable.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compartidos/pdf/COM_MET_POBAGUAP.pdf

SNIARN. (2022). Densidad poblacional. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes21/indicadores/O1_contexto/1.1.3.html

SNIARN. (2018). Compendio de estadísticas ambientales.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2018/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet42a8.html

Tilley E., Ulrich, L., Lüthi, Reymond P., et. al. (2018). Laguna de acuicultura o acuicultura. Tecnologías de A&S. Tecnologías de saneamiento. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/uso-yo-disposicion-final/laguna-de-acuicultura-o-acuicultura>

UNAM (25 de febrero de 2024). Sugiere experto aumentar el tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) [Boletín UNAM-DGCS-136]. Recuperado el 12 de abril de 2024 de https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2024_136.html

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). (s. f.). Entorno del proyecto. Facultad de Ciencias Exactas.
<https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/18423/entorno-del-proyecto>

Periódicos

Álvarez, J. y Latorre, M. (10 de junio de 2023). Cómo reducir el consumo de agua de la ganadería. El Economista.
<https://www.economista.com.mx/arteseideas/Como-reducir-el-consumo-de-agua-de-la-ganaderia-20230610-0002.html>

Ávila, O. (27 de abril de 2024). Ven en aguas tratadas futuro ante la sequía. Excelsior.
<https://www.excelsior.com.mx/nacional/ven-en-aguas-tratadas-futuro-ante-la-sequia/1648828>

- Badillo, D. (24 de septiembre de 2023). Aumentará rezago de infraestructura hidráulica en México durante 2024. *El Economista*. Recuperado el 12 de abril de 2024 de <https://www.economista.com.mx/politica/Aumentara-rezago-de-infraestructura-hidraulica-en-Mexico-durante-2024-20230923-0001.html>
- De la Rosa, E. (19 de abril de 2022). La NOM de aguas residuales provocará quiebras y encarecerá canasta básica: IP. *Milenio*. <https://www.milenio.com/negocios/nom-aguas-residuales-provocara-quiebras-encarecera-canasta>
- Foro Consultivo Científico y Tecnológico. (S. f.) Tratamiento de aguas residuales. NOTAS INCyTU. Recuperado el 30 de mayo de 2024 de <https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/index.php/notas/sociedad/120-28-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Garrote, L. (2022). Optimización del consumo de agua en explotaciones ganaderas. *Interempresas*. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.interempresas.net/>
- Haro, L. (10 de octubre de 2021). Aguas con la NOM-001 SEMARNAT 2021. *El Sol de México*. Recuperado el 12 de abril de 2024 de <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/aguas-con-la-nom-001-semarnat-2021-7319359.html>
- Redacción (19 de marzo de 2024). Escasez de agua afecta a las escuelas de México, denuncia FNERRR [Federación Nacional de Estudiantes Revolucionarios Rafael Ramírez]. *Hora Cero*. <https://horacero.mx/2024/03/19/253497/>
- Rojo, E. et. al. (2024). Greenfarm: una revolución verde para la sostenibilidad agroganadera. *Interempresas*. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/537036-Greenfarm-una-revolucion-verde-para-la-sostenibilidad-agroganadera.html>
- Saravia, F. (24 de noviembre de 2017). La importancia de promover la actividad comercial en la ciudad. *El Cronista*. <https://www.cronista.com/opinion/La-importancia-de-promover-la-actividad-comercial-en-la-ciudad-20171124-0024.html>
- Vázquez, E. (14 de mayo de 2020). Agua en escuelas: condición indispensable para el regreso seguro a clases. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/agua-en-escuelas-condicion-indispensable-para-el-regreso-seguro-a-clases/>
- Wang, Q., Yang, N., Cai, Y., Zhang, G., Wu, Y., Ma, W., ... y Zhang, P. (2023). Tratamiento avanzado y valorización de residuos alimentarios mediante

fermentación por etapas y elongación de cadena. *Bioresource Technology* , 384 , 129286.

Revistas

Berumen, S. y Llamazares, F. (2007). La utilidad de Los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de Administración*, 20(34), 65-87.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922007000200004%20%20%20https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/aa1ccc23-7ffd-45e7-adce-c70b408fb35f/content

Herrera, R. (2010) Instituto para el Desarrollo Técnico de las Haciendas Públicas. *Revista hacienda municipal* (111), 86-99.
<https://biblat.unam.mx/hevila/Revistahaciendamunicipal/2010/no111/9.pdf>

Mendoza-Retana, S., Cervantes-Vázquez, M., Valenzuela-Garcia, A., et. al. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342021000100115

O'Neill, m. y Dobrowolski, J. (2011). water and agriculture in a changing climate. *Hortscience* 46, 155-157.
<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/46/2/article-p155.xml>

Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312. Recuperado el 12 de abril de 2024 de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001

Trujillo, R. (2022). Crisis hídricas y aguas residuales. *Hechos y Derechos*. 68. Recuperado de: <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/16717/17310>

Libros

Arreguín, F. (2021). *Obras hidráulicas*. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
<https://www.iingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Libros/Documents/obras-hidraulicas-digital.pdf>

- César, E. y Vázquez, A. (1994). Abastecimiento de agua potable Volumen III: Administración, operación, mantenimiento y financiamiento de los Sistemas. Facultad de Ingeniería, UNAM. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/handle/132.248.52.100/13439>
- CONAPO. (1999). Población. Cuadernos de población. Consejo Nacional de Población. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/11/5316/9.pdf>
- Garapen Iraunkorra. (2009). Identificación y evaluación de aspectos ambientales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/123182/identificacion_y_evaluacion_de_aspectos_ambientales.pdf
- IMCO (2023). Aguas en México: ¿escasez o mala gestión? Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). <https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/02/Situacion-del-agua-en-Mexico>
- Morgan, J., Ramírez, B., Morgan, C., Noyola, A. et. al. (2023). Tratamiento y reúso de agua residual municipal: metodología para estimar el potencial de reúso en una región y evaluar el desempeño de plantas de tratamiento. Instituto de Ingeniería de la UNAM. <https://comite-editorial.iingen.unam.mx/omp-new/index.php/sii/catalog/view/33/37/414>
- Noyola, A., Morgan, J. y Güereca, L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Instituto de Ingeniería de la UNAM. <http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/docs/Guia.pdf>
- OPS. (2014). Indicadores básicos de la OPS. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/documentos/glosario-indicadores-basicos-ops>

Bibliohemerografía

CONAGUA. (2022). Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-8-23.pdf>

CONAGUA. (2022). Monitor de sequía en México. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

INEGI. (2020). Panorama sociodemográfico de Durango: Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197834.pdf

INEGI. (2020). DATAMÉXICO. Secretaría de Economía (SE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/>

Inmuebles24 (20 de junio de 2024). Terrenos más de 10,000 metros cuadrados en venta en Aguascalientes. Recuperado de: <https://www.inmuebles24.com/terrenos-en-venta-en-aguascalientes-mas-de-10000-metros-cuadrados.html>

SE. (2020). DATAMÉXICO. Secretaría de Economía (SE). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/>

Temperaturas

Ayuntamiento de Hermosillo. (2022). Plan municipal de desarrollo. Hermosillo 2022 – 2024. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.hermosillo.gob.mx/descargas/PMD_2022WEB.pdf

Gobierno Municipal de El Marqués. (2020). Programa estratégico para la temporada invernal 2020–2021. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://elmarques.gob.mx/wp-content/uploads/2020/11/PET-INVERNAL-2020-2021-PDP.pdf>

INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal. Gómez Palacio, Durango. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado el 20 de junio de 2024 de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/10/10007.pdf

INEGI. (2010). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos (Censo General de Población y Vivienda 2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Municipio de Aguascalientes. (2019). Plan de desarrollo municipal 2019-2021. Secretaría General de Gobierno. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/MUN-12-22.pdf>

POG. Periódico Oficial de Guanajuato. (2022, 15 de marzo). Programa de gobierno 2021-2024 para el municipio de Celaya. Recuperado de: https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2022_CELAYA_Programa_gobierno_municipal_2021%20-%202024_celaya_gto.pdf

Situación de los recursos hídricos

Aguilar, R. (14 de julio de 2022). Sobreexplota Celaya su manto acuífero al extraer 115 metros cúbicos por año. Zona Franca. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://zonafranca.mx/politica-sociedad/ecologia/sobreexplota-celaya-su-manto-acuifero-al-extraer-115-metros-cubicos-por-ano/#:~:text=Celaya%20necesita%20de%20620%20mil%C3%ADmetros%20de%20precipitaciones%20pluviales,41%20millones%20de%20destinados%20para%20el%20uso%20dom%C3%A9stico.>

Caldera, A. y Tagle D. (2020). Agua en el bajío guanajuatense [E-book]. Universidad de Guanajuato. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://www.ugto.mx/ugentucasa/images/pdf/libro/agua-en-el-bajio-guanajuatense.pdf>

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/>

Municipio de Chihuahua (2022). Plan Municipal de Desarrollo de Chihuahua, 2021-2024. Recuperado el 20 de junio de 2024 de:

https://www.chihuahua.gob.mx/sites/default/atach2/anexo/anexo_03-2022_pmd_chihuahua_2021-2024_compressed_1.pdf

Municipio de Gómez Palacio. (2022). Plan Municipal de Desarrollo de Gómez Palacio, Durango, 2022-2025. Recuperado de: <https://transparencia.gomezpalacio.gob.mx/wp-content/uploads/2022/12/PLAN-MUNICIPAL-DE-DESARROLLO-2022-Transparencia.pdf>

OCDS. Observatorio para la Competitividad y el Desarrollo de Sonora A.C. (2021). Hermosillo ¿Cómo Vamos? Informe de Indicadores 2021. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://hermosillocomovamos.org/wp-content/uploads/2022/02/Informe-de-Indicadores-2021-Hermosillo-Como-Vamos-HCV.pdf>

Santoyo, K. (23 de agosto de 2023). Acuífero de Querétaro: Una muerte anunciada para 2025. Tribuna de Querétaro. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://tribunadequeretaro.com/informacion/investigaciones/acuifero-de-queretaro-una-muerte-anunciada-para-2025/>

Vega Carriles, E. (16 de noviembre de 2023). Firman convenio entre El Marqués y la CEA. Plaza de Armas. Recuperado el 20 de junio de 2024 de: <https://plazadearmas.com.mx/firman-convenio-entre-el-marques-y-la-cea/>

Obras hidráulicas existentes

CONAGUA. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Celaya. Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/guanajuato/DR_1115.pdf

Del Bajío, E. S. (2023, 9 octubre). Celaya tiene la infraestructura para abastecer de agua potable a la ciudad: Jumapa. Cobertura 360. <https://cobertura360.mx/2023/10/09/guanajuato/celaya-tiene-la-infraestructura-para-abastecer-de-agua-potable-a-la-ciudad-jumapa/>

PROGRAMA ESTRATÉGICO DE TEMPORADA DE LLUVIAS 2020. Coordinación Municipal de Protección Civil de El Marqués, Qro. <https://elmarques.gob.mx/wp-content/uploads/2020/06/PET-2020-WEB.pdf>