



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"*

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL Y PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE UNA  
PLANTA POTABILIZADORA DEL ESTADO DE PUEBLA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**Alejandra Berenice Galindo Rodríguez**

Director de tesis:

Dr. Eduardo Torres Ramírez



Enero 2025



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL Y PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE UNA PLANTA POTABILIZADORA DEL ESTADO DE PUEBLA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**Alejandra Berenice Galindo Rodríguez**

Comité tutorial:

Director	Dr. Eduardo Torres Ramírez
Co-Director	Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre
Tutor	Dra. Sonia Emilia Silva Gómez
Integrante Comité Tutorial	Dra. Edith Chávez Bravo
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Josefina Robles Águila

Enero 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme permitido vivir hasta este día, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante y brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Socorro Rodríguez Aquino y Federico Galindo Balderas, por otorgarme todo su amor, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

Al Dr. Eduardo Torres Ramírez, por la dirección de este trabajo, por las facilidades que me otorgo y la oportunidad de seguir creciendo. Su experiencia y conocimientos son de gran valor para mi formación. También quiero agradecer por su paciencia y apoyo constante.

Al Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre, por su paciencia, por su valiosa guía y apoyo en este trabajo. Así como su buen humor y sus consejos que me han motivado.

Al CEAS por el apoyo brindado para esta investigación y la experiencia en el tratamiento de aguas, que hoy en día es un desafío mundial que nos corresponde a todos.

También me gustaría agradecer a la Dra. Laura Sol Pérez y al Dr. José Luis Zamora; quienes me han brindado su apoyo incondicional, me han nutrido con sus observaciones certeras y me han hecho madurar.

A la Dra. Lydia Pérez y el Dr. Sampieri Croda, quienes me motivaron a seguir con mis estudios de maestría y me han impulsado a seguir adelante desde la licenciatura.

A mis compañeros más cercanos por la confianza brindada, por soportar mi energía y por haber hecho de esta etapa de estudios de maestría un trayecto de vivencias que nunca olvidares. Gracias a: Gabriela Rosales, Galilea Carbajal, Karla Del Razo, Julián Aguas, Yessica Reyes y Elizabeth Peña.

Gracias a mis compañeros de trabajo: Alexis Juárez, Luis Reyes, Eréndira Ramírez, Ulises Nieto, Adriana Balboa, Diego Ramírez, Fernando Paredes, Moni López, Isaac Haro, Juan Carlos Pichardo, Marco Antonio Ruiz, Dafne J. Muñoz y Brian Machorro.

A mis amigas: María Claudia Gómez y Beatriz Pamela Leal; por toda una vida de aventuras. Así como a Beatriz Pérez, Pamela Salvador, Adriana Gonzales, Veredith Sánchez y Aurelia Castro, quienes me han acompañado desde la licenciatura.

Por último, agradezco al posgrado de Ciencias Ambientales por la oportunidad de formarme, a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) por el apoyo brindado y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

***¡A todos gracias!***

## CONTENIDO

---

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	4
OBJETIVO GENERAL .....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
FORMULACIÓN DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	7
HIPÓTESIS .....	7
TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	7
ANTECEDENTES .....	8
1.1    Suministro de agua potable.....	11
1.2    Marco legal en tema de agua potable .....	12
1.3    Tratamientos convencionales en la potabilización de agua en México.....	15
1.4    Situación de los recursos hídricos en México .....	20
1.5    Municipio de San José Chiapa .....	22
1.6    Precedentes de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) en San José Chiapa .....	23
1.7    Desempeño ambiental de las plantas potabilizadoras.....	27
METODOLOGÍA.....	30
2.1    Determinación de las condiciones operativas y tecnológicas de la Estación del Tratamiento de Agua Potable (ETAP).....	31
2.2    Caracterización del agua en la Estación de Tratamiento de Agua Potable .....	33
2.3    Identificación de áreas de oportunidad a partir de diagramas de proceso .....	34
2.4    Estimación de la huella ecológica de la ETAPCM identificando áreas de impacto ambiental .....	35

2.5 Reconocimiento de las relaciones del objeto de estudio y los actores clave .....	36
2.6 Análisis de las dimensiones del estudio .....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
3.1 Condiciones operativas y tecnológicas actuales de la ETAPCM.....	40
3.2 Parámetros fisicoquímicos obtenidos de la ETAPCM .....	53
3.3 Diseño de propuestas mediante el empleo de diagramas de proceso .....	60
3.4 Evaluación de las áreas de impacto ambiental .....	66
3.5 Sistemas relacionados con el ETAPCM y actores claves.....	71
3.6 Determinación de las dimensiones interconectadas a la sostenibilidad .....	78
CONCLUSIONES.....	86
ANEXOS .....	89
REFERENCIAS .....	167

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Elementos para un buen servicio de agua. Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2019).....	11
Figura 2. Marco legal referente al agua potable .....	12
Figura 3. Agua renovable por habitante de cada entidad federativa, 2019, Fuente: (INEGI, 2022).....	21
Figura 4. Localización geográfica de la localidad de Ciudad Modelo .....	24
Figura 5. Ubicación geográfica de la Planta Potabilizadora.....	26
Figura 6. Localización de las etapas de la ETAPCM.....	41
Figura 7. Oficina del supervisor de la planta potabilizadora.....	44
Figura 8. Localización de los dos sitios de muestreo en la ETAPCM: pozo y efluente.....	53
Figura 9. Diagrama de bloques actualizado del proceso de potabilización de agua de la ETAPCM.....	61
Figura 10. Secuencia de puesta de marcha por áreas de la ETAPCM .....	65
Figura 11. Sistema complejo de estudio.....	74
Figura 12. Mapeo de actores clave de la localidad de Ciudad Modelo .....	77
Figura 13. Evaluación de la sustentabilidad de la ETAPCM en cinco dimensiones.....	83
Figura 14-A14. Sistema óptico del equipo .....	123
Figura 15-A15. Etapa de extracción de agua cruda de la ETAPCM.....	124
Figura 16-A15. Etapa de almacenamiento de agua cruda de la ETAPCM .....	125
Figura 17-A15. Etapa de bombeo de agua cruda de la ETAPCM.....	126
Figura 18-A15. Etapa de filtración de agua cruda de la ETAPCM.....	127
Figura 19-A15. Etapa de remoción de dureza de la ETAPCM .....	128
Figura 20-A15. Etapa de pulido de agua de la ETAPCM .....	129
Figura 21-A15. Etapa de desinfección del agua de la ETAPCM.....	130

Figura 22-A19. Edad de los habitantes encuestados de la localidad de Ciudad Modelo ...	146
Figura 23-A19. Sexo de los habitantes encuestados en la localidad de Ciudad Modelo ...	146
Figura 24-A19. Ocupación de los habitantes encuestados en la localidad de Ciudad Modelo .....	147
Figura 25-A19. Lugar de origen de los habitantes encuestados de la localidad de Ciudad Modelo.....	147
Figura 26-A19. Tiempo en la localidad.....	148
Figura 27-A19. Número de individuos en los departamentos .....	148
Figura 28-A19. Actividades en las que son empleadas el agua.....	149
Figura 29-A19. Conocimiento sobre el término de potabilizadora .....	149
Figura 30-A19. Abastecimiento de agua .....	150
Figura 31-A19. Profundización sobre el conocimiento en el abastecimiento de agua.....	150
Figura 32-A19. Tipo de almacenamiento del agua potable.....	151
Figura 33-A19. Disposición del agua después de ser empleada.....	151
Figura 34-A19. Infraestructura de reducción de consumo de agua.....	154
Figura 35-A19. Enfermedades hídricas .....	155
Figura 36-A19. Consume agua directamente del glifo.....	155
Figura 37-A19. Empleo de filtros en la vivienda .....	156
Figura 38-A19. Grado de satisfacción sobre la calidad del agua abastecida a la localidad	158
Figura 39-A19. Grado de aceptabilidad del sabor del agua potable.....	159
Figura 40-A19. Grado de aceptabilidad del olor del agua potable.....	159
Figura 41-A19. Grado de aceptabilidad del color del agua potable .....	160
Figura 42-A19. Grado de confianza en la ETAPCM .....	160
Figura 43-A19. Percepción del olor de la ETAPCM de los encuestados.....	161

Figura 44-A19. Grado de aceptabilidad de la generación de ruido generado por al tratamiento de la ETAPCM .....	162
Figura 45-A19. Grado de aceptabilidad del impacto visual de la ETAPCM .....	162
Figura 46-A19. Grado de satisfacción con respecto a la cantidad de agua .....	163
Figura 47-A19. Grado de satisfacción con respecto a la calidad del agua .....	164
Figura 48-A19. Relación calidad/ precio del agua potable .....	164
Figura 49-A19. Consideración del pago del servicio .....	165
Figura 50-A19. Estabilidad estructural de la ETAP .....	166
Figura 51-A19. Conocimiento sobre la ETAP .....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Regulación aplicable en materia de agua para el presente proyecto .....	13
Tabla 2. Resumen de las plantas potabilizadoras en México, datos tomados del inventario nacional de plantas municipales de potabilización (CONAGUA, 2022) .....	16
Tabla 3. Procesos propuestos para la potabilización del agua de acuerdo con el contaminante, Fuente: (Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2022) (Comisión Nacional del Agua, 2019).....	18
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua determinados en este estudio para el agua proveniente de la ETAPCM .....	33
Tabla 5. Indicadores estándar de la literatura utilizados para evaluar la sustentabilidad, para ser aplicados en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) modificado (Cossio et al., 2020).....	37
Tabla 6. Identificación de las etapas de la ETAPCM.....	42
Tabla 7. Ficha de datos generales de la ETAPCM, San José Chiapa, Puebla.....	45
Tabla 8. Factores que no se cumplen en la fase de evaluación de planta paquete o de patente .....	47
Tabla 9. Listado de equipos que no cumplen con en el análisis de integridad mecánico, eléctrico o hidráulico de la ETAPCM .....	50
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de sequía de la ETAPCM comparados con la modificación NOM-127-SSA1-1994 .....	55
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de lluvia de la ETAPCM comparados con la NOM-127-SSA1-2021.....	57
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de sequía de la ETAPCM comparados con la NOM-127-SSA1-2021.....	58
Tabla 13. Propuestas para la actualización técnica de la ETAPCM.....	62
Tabla 14. Cálculo de la huella ecológica corporativa.....	67
Tabla 15. Resultados obtenidos de la evaluación de las cinco dimensiones .....	81

Tabla 16. Número de respuestas obtenidas con dictamen de desempeño adecuado (Si) y no adecuado (No) para las dimensiones ambientales de la ETAPCM .....	84
Tabla 17-A20. Integración del nuevo núcleo urbano .....	132
Tabla 18-A20. Segunda sección: Relación de los encuestados con el servicio de agua potable .....	133
Tabla 19-A20. Tercera sección: análisis de las dimensiones .....	135
Tabla 20-18. Diario de campo realizado el 01 de abril del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo.....	137
Tabla 21-A18. Diario de campo realizado el 15 de abril del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo.....	141
Tabla 22-A18. Diario de campo realizado el 01 de mayo del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo.....	144
Tabla 23-A19. Disposición del agua después de ser empleada.....	152
Tabla 24-A19. Suficiencia de los litros de agua para realizar sus actividades.....	153
Tabla 25-A19. Cuidado del agua potable .....	153
Tabla 26-A19. Uso racional y eficiente del agua potable.....	154
Tabla 27-A19. Noción sobre el origen del agua potable en la localidad de Ciudad Modelo .....	156
Tabla 28-A19. Noción sobre el tratamiento del agua potable del grupo de encuestados de la localidad de Ciudad Modelo.....	157

## ÍNDICE DE ANEXOS

---

Anexo 1. Ficha de datos generales, modificado de CONAGUA,2019 .....	90
Anexo 2. Evaluación de planta paquete o de patente .....	92
Anexo 3. Manual de operación de la planta potabilizadora de Ciudad Modelo.....	96
Anexo 4. Manual de instalación y operación de potabilizadora.....	97
Anexo 5. Plan de trabajo de ETAPCM.....	98
Anexo 6. Bitácora de ETAPCM.....	99
Anexo 7. Evaluación planta paquete o de patente .....	100
Anexo 8. Comparación de los parámetros de diseño contra los datos operativos reales ...	104
Anexo 9. Análisis de la integridad hidráulica de cada etapa de la ETAPCM .....	108
Anexo 10. Análisis de la integridad mecánico de cada etapa de la ETAPCM.....	109
Anexo 11. Análisis de la integridad eléctrico de cada etapa de la ETAPCM .....	112
Anexo 12. Manejo y disposición de productos químicos .....	113
Anexo 13. Valoración tecnológica de la ETAPCM .....	114
Anexo 14. Principio de operación del medidor de DQO y fotómetro multiparámetro .....	122
Anexo 15. Diagramas integrales de ETAPCM.....	124
Anexo 16. Formato del diario de campo para ser aplicado en la localidad de Ciudad Modelo .....	131
Anexo 17. Formato aplicado de encuesta a los pobladores de la localidad de Ciudad Modelo .....	132
Anexo 18. Diarios de campo realizados en la localidad de Ciudad Modelo .....	137
Anexo 19. Resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta.....	146

## RESUMEN

Las plantas potabilizadoras desempeñan un papel crucial en garantizar el acceso a agua, en proteger la salud pública y la de los ecosistemas. Estos sistemas son objeto de estudio para evaluar su eficiencia, minimizar su impacto ambiental y desarrollar tecnologías innovadoras para la purificación del agua, contribuyendo así a la sostenibilidad y al bienestar humano. El presente trabajo aplica una metodología mixta para evaluar el desempeño ambiental de una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) en el Municipio de San José Chiapa. Se combinaron análisis técnicos (estado operativo, calidad del agua, huella ecológica) con una perspectiva social (percepción de la comunidad). Los resultados obtenidos permitieron identificar las principales fortalezas y debilidades de la planta, así como proponer un conjunto de medidas para mejorar su desempeño ambiental y social. Se concluye que la planta potabilizadora opera correctamente suministrando agua con calidad de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM- 127-SSA1-2021, pero técnicamente presenta limitaciones que pueden afectar su eficiencia ambiental. El cálculo de la huella ambiental indica que la planta potabilizadora produce 298 t CO<sub>2</sub> por año o 7.2 kg CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de agua tratada, por encima de lo documentado para procesos equivalentes. Por otro lado, el estudio de percepción, basado en la aplicación de un cuestionario que consideró las dimensiones social, tecnológica, ecológica, económica e institucional, indicó que la mayoría de la población se encuentra satisfecha con la operación de la planta, por lo que se calificó como adecuado su desempeño ambiental. Mediante diagramas de flujo e ingeniería conceptual se describen mejoras por sector dentro de la planta para mejorar su desempeño técnico.

## INTRODUCCIÓN

El aseguramiento de un suministro de agua ha sido un factor determinante en el desarrollo humano, ya que este recurso es esencial para la salud y calidad de vida, no solo del ser humano sino de todos los organismos bióticos que habitan en el planeta.

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje se incremente año con año (Naciones Unidas, 2022). Por ello la 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el derecho humano al agua y al saneamiento. Con ello se reconoce la responsabilidad de los estados de promover y proteger dicho derecho proporcionando recursos financieros, propiciando el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología, a fin de intensificar el acceso económico al agua potable y el saneamiento (Naciones Unidas, 2010).

En la actualidad se implementan Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) para garantizar agua apta y de calidad. Estas son complejos que se encargan de someter el agua superficial o subterránea a una serie de procesos como captación, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección para la remoción de los contaminantes. Por lo tanto, el diseño de una planta potabilizadora es un proceso complejo que depende en gran medida de las condiciones geológicas, climáticas y de las actividades humanas relacionadas con el cuerpo hídrico en cuestión, por lo que es necesario evaluar y reformar la infraestructura de las plantas para prolongar su tiempo de vida y fortalecer la calidad del agua (J. Howe *et al.* 2012).

En el presente trabajo se evalúa el desempeño ambiental de una ETAP en el municipio de San José Chiapa, Puebla. Se define al desempeño ambiental como una medida del impacto que una organización, o empresa tiene sobre el ambiente y la sociedad a partir de sus actividades diarias. La ETAP fue creada para dar servicio al nuevo núcleo urbano, denominado Ciudad Modelo, en el municipio de San José Chiapa, Puebla. Para lo anterior, se realizó un estudio mixto, cualitativo y cuantitativo, que permitió identificar los factores asociados al funcionamiento. Como primer paso, se determinó el estado operativo y tecnológico de la potabilizadora, mediante la recolección de información, visitas de campo y

la valoración de aspectos claves. Así mismo, las visitas de campo permitieron recolectar muestras para analizar la calidad del agua en diferentes puntos del proceso y diferentes épocas del año. Como segundo paso, se identificaron áreas de oportunidad permitiendo desarrollar ingeniería básica mediante la elaboración de diagramas que permitan mejorar su funcionamiento y eficiencia; y se calculó la huella ecológica de la ETAP. Como paso final, se diseñó un sistema complejo para identificar los elementos asociados al funcionamiento de la planta y su mutua dependencia, un mapa de actores claves para el entendimiento de los personajes trascendentales y se aplicó un método etnográfico para determinar la percepción social sobre el impacto ambiental de la estación de tratamiento, considerando las dimensiones ecológica, social, económica, tecnológica e institucional.

## JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable es un desafío global que afecta a millones de personas, especialmente en regiones en desarrollo. La escasez hídrica, la contaminación de fuentes de agua, la infraestructura deficiente y la gestión inadecuada de los recursos hídricos son los principales obstáculos que impiden que muchas comunidades tengan acceso a agua limpia y segura para el consumo humano. Esta situación tiene graves consecuencias para la salud, la higiene y el desarrollo socioeconómico de las poblaciones afectadas. Todo esto ha impulsado la creación de decretos internacionales para impulsar el derecho humano “al acceso de agua potable y al saneamiento”. Y se ha establecido como un objetivo para alcanzar el desarrollo sostenible en la Agenda 2030. Las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) desempeñan un papel relevante en garantizar el acceso a agua potable para las comunidades. A través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, estas instalaciones transforman el agua cruda, proveniente de ríos, lagos o acuíferos, en agua con calidad suficiente para el consumo humano, lo que puede contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el agua y, por ende, mejorar la calidad de vida de los pobladores. Sin embargo, es importante destacar que estas ETAP son solo una parte de la solución, ya que su efectividad depende de factores como la calidad del agua de la fuente, la capacidad de producción y el mantenimiento adecuado.

La producción de agua potable, a pesar de ser esencial para la vida humana, conlleva una serie de impactos ambientales importantes. Uno de los principales problemas es el consumo de energía, ya que los procesos de potabilización, como la filtración, la desinfección y la cloración, requieren de una considerable cantidad de electricidad. Además, el bombeo de agua desde las fuentes hasta las plantas de tratamiento y su posterior distribución a las viviendas también consume energía. Dado que la energía utilizada en estos procesos proviene de fuentes fósiles, ello impacta en el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Otro impacto ambiental importante es la generación de residuos, como los lodos y aguas salobres, y los subproductos de desinfección que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. La extracción excesiva de agua de ríos, lagos y acuíferos para abastecer las plantas de tratamiento puede alterar los ecosistemas acuáticos, reducir el caudal de los ríos y afectar la biodiversidad.

Este trabajo está enfocado al estudio del desempeño ambiental de una planta potabilizadora, lo que permitió conocer los desafíos ambientales asociados a la producción de agua potable en la zona de estudio Ciudad Modelo del estado de Puebla. Se pretende diagnosticar los equipos, procesos, tecnologías o prácticas implementadas en la planta para identificar y cuantificar los impactos ambientales generados, desde el consumo energético y la generación de residuos hasta las emisiones atmosféricas. Este diagnóstico contribuirá, eventualmente, con nueva información para establecer líneas de base, fijar metas de mejora y diseñar estrategias para optimizar el uso de recursos, reducir la huella ecológica e incrementar su sostenibilidad ambiental. Además, al revisar el cumplimiento de la legislación ambiental vigente, el estudio del desempeño ambiental contribuiría a la mejora continua de las plantas potabilizadoras y a la protección de los recursos hídricos. La metodología desarrollada en este estudio puede servir como modelo para desarrollar herramientas de evaluación del desempeño ambiental aplicables a otras plantas potabilizadoras. Los resultados de estos estudios podrían servir, en el futuro cercano, como base para la elaboración de informes de sostenibilidad, la certificación ambiental, fomentando así la confianza en la gestión del agua y la participación ciudadana en la toma de decisiones.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el desempeño ambiental y proponer una actualización tecnológica de estación de tratamiento de agua potable de Ciudad Modelo del estado de Puebla para mejorar su funcionamiento, a largo plazo del sistema

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el estado operativo y tecnológico de los equipos, instrumentación y sistemas de control de la planta potabilizadora, identificando posibles deficiencias y obsolescencias.
2. Determinar la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua a lo largo del proceso de potabilización.
3. Identificar las principales oportunidades de mejora en el proceso actual de potabilización y desarrollar una ingeniería conceptual que permita mejorar su funcionamiento y eficiencia.
4. Estimar la huella ecológica de la estación de tratamiento de agua potable, identificando los principales indicadores de impacto ambiental asociados a sus operaciones.
5. Identificar y caracterizar los sistemas, subsistemas y actores internos que interactúan directamente con la estación de tratamiento de agua potable.
6. Determinar la percepción social sobre el impacto ambiental de la estación de tratamiento, considerando las dimensiones ecológica, social, económica, tecnológica e institucional.

## **FORMULACIÓN DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál es el estado tecnológico actual y el impacto ambiental de la estación de tratamiento de agua potable?
- ¿Cómo es percibida la calidad y cantidad de agua por la población de la localidad de Ciudad Modelo?
- ¿Cuál el desempeño ambiental de la planta desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo?

## **HIPÓTESIS**

La ETAP de Ciudad Modelo del estado de Puebla tiene un desempeño ambiental insuficiente para promover en calidad y cantidad de agua para la población debido a limitaciones tecnológicas de los equipos existentes provocadas por insuficiencia presupuestal y deficiencias técnicas en el diseño original de la planta.

## **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo mixto, ya que incluye la colecta y procesamiento de datos cuantitativos y cualitativos. Es exploratorio ya que se determinó la calidad del agua de una planta potabilizadora, logrando un acercamiento local y regional al sitio de estudio. Es descriptiva debido a que se registraron las características de la población y del nuevo núcleo urbano de Ciudad Modelo. Además, tiene alcance correlacional ya que se confrontaron los resultados del análisis de agua de distintos sitios y dos épocas del año. Y su alcance explicativo se manifiesta al determinar factores socio ecológicos asociados al funcionamiento de la planta.

# **ANTECEDENTES**

---

---

De acuerdo con la OMS, entre 1990 y 2015, la proporción de población mundial que utilizaba una fuente mejorada de agua incrementó del 76% al 90% (World Health Organization and UNICEF , 2014). Actualmente, debido a problemas como el crecimiento poblacional, el cambio climático, la industrialización, el almacenamiento inadecuado o insuficiente, la falta de infraestructura hídrica y la mala gestión, se requieren mejoras cuantitativas y cualitativas, para proporcionar agua suficiente y de buena calidad para beber (Bârjoveanu *et al.*, 2019).

Esta necesidad está reflejada en la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, cuyo sexto objetivo, busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Es importante destacar que entre las metas de este objetivo se encuentra “aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua” (Naciones Unidas, 2018).

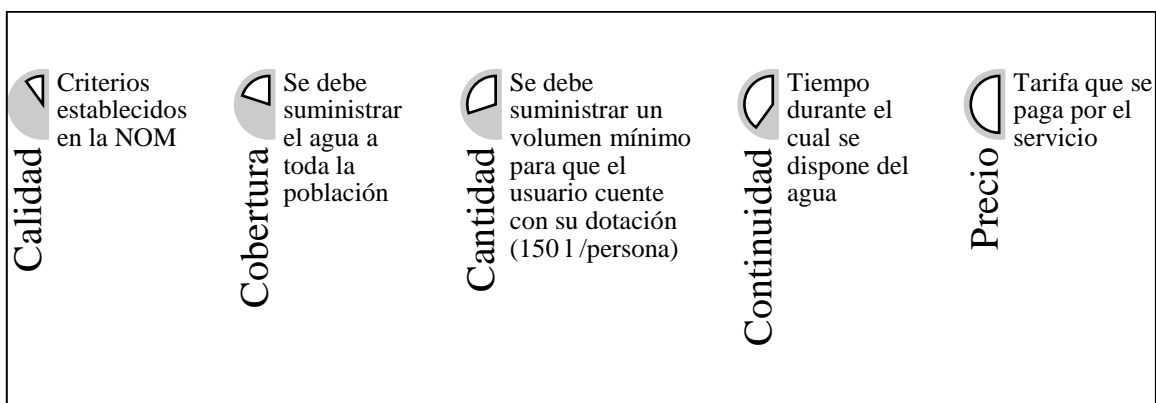
De acuerdo con la Red UNAM, 2022 el 60% de los cuerpos de agua presentan algún grado de contaminación, cerca del 40% de agua se pierde en fugas y el 71% del territorio nacional presenta grado de presión hídrica alto o muy alto (Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Red del Agua UNAM, 2022). Dicho lo anterior la República Mexicana se encuentra enfrentando retos puntuales en tema de escasez del vital líquido, por ejemplo en el Valle de México se redujo la dotación de agua del sistema Cutzamala desde el 2021; en Guadalajara desde el mes de marzo del 2021 hay cortes del servicio de agua que afectan a miles de ciudadanos y, en Puebla, todas las colonias carecen de un abasto de al menos 100 litros al día por persona, como recomienda la Organización Mundial de la Salud (Enciso & Dávila, 2022). Así mismo el estado de Puebla ha sido señalado con alerta roja por la inminente falta de suministro de agua de acuerdo con la comisión de recursos hidráulicos, agua potable y saneamiento (Llaven Anzures, 2022).

Por lo que es necesario incrementar la cantidad y calidad de las unidades potabilizadoras para el acceso al agua y saneamiento conforme a lo establecido en la fracción III del artículo 115 constitucional. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2021). Así la infraestructura hidráulica juega un papel de gran importancia para lograr dicho objetivo.

Las plantas potabilizadoras son un complejo tecnológico que somete al agua superficial o subterránea a una serie de procesos que hace que sea sanitariamente aceptable para consumo en las actividades diarias de la población. En el año 2020 se registraron 997 plantas potabilizadoras en el país, en contraste, al año 2021 fueron registradas 984 unidades en operación. (CONAGUA, 2022). El decremento del servicio de abastecimiento de agua es debido a un rezago en la falta de inversión pública y caída en la recaudación ( Juárez Galindo, 2022); una fracción de los componentes de la infraestructura hidráulica han sobrepasado su vida útil o han sido superados por los avances tecnológicos, por lo que es necesario reemplazarlos por equipos modernos y eficientes (Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Red del Agua UNAM, 2022).

## 1.1 Suministro de agua potable

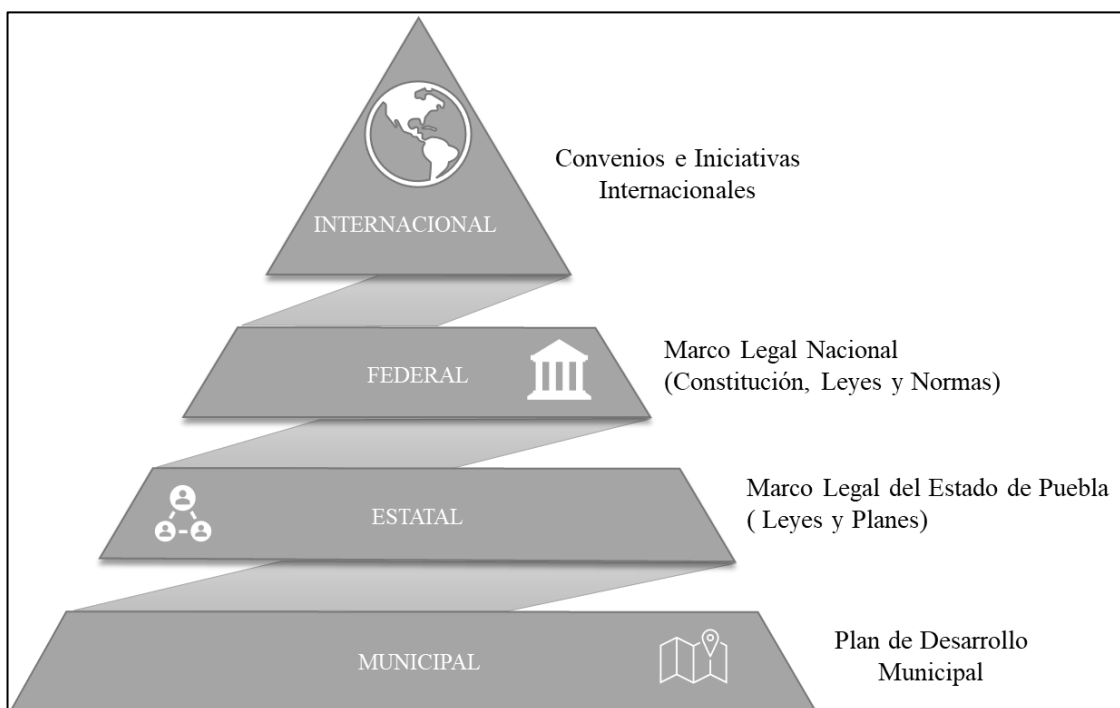
El artículo 115 de la Constitución Mexicana acuña la responsabilidad del suministro de agua potable a los municipios, para lo cual se conformaron servicios públicos denominados Organismos Operadores, que cuentan con la responsabilidad de: conservar las fuentes de suministro de agua, realizar obras de captación, conducción, desmineralización, conservación, potabilización, mantenimiento, vigilancia de la calidad del servicio, manutención y operación del sistemas de redes de distribución a los usuarios y atención a los usuarios (cobro hasta la administración del sistema), así como el fomento de la investigación en la gestión del agua (Comisión Nacional del Agua, 2019) (Secretaría de Gobernación, 2019). La Figura 1 presenta los cinco indicadores, los cuales son una guía para que los organismos operadores proporcionen a los usuarios una medida objetiva de la calidad del servicio (Comisión Nacional del Agua, 2019).



**Figura 1. Elementos para un buen servicio de agua. Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2019)**

## 1.2 Marco legal en tema de agua potable

La Figura 2 ilustra la jerarquía normativa del marco legal aplicable al agua, representada mediante la pirámide de Kelsen. Esta herramienta, construida a partir de una exhaustiva revisión de la normativa vigente, nos permitió analizar de manera ordenada cómo se relacionan las distintas disposiciones legales que rigen al sector hídrico.



***Figura 2. Marco legal referente al agua potable***

A su vez, la Tabla 1 resume de manera enunciativa la legislación federal, estatal y municipal aplicable a los diferentes componentes del proyecto. Esta tabla sirve como referencia para comprobar la conformidad del proyecto con el marco legal vigente y para identificar posibles áreas de mejora.

**Tabla 1. Regulación aplicable en materia de agua para el presente proyecto**

Organismo	Regulación	Extracto de la regulación aplicable
Organización de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2018)	Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible	El objetivo seis en su fracción IV señala que para el 2030, se pretende alcanzar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2021)	Artículo 115	Establece las atribuciones y responsabilidades de los Estados de la Federación y del Distrito Federal. En el párrafo III, inciso a) se establece que los municipios tienen a su cargo el otorgamiento de los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales
Ley de Aguas Nacionales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2022)	Artículo 96	Establece las disposiciones generales sobre la inversión en infraestructura hidráulica. La fracción I permite las obras hidráulicas que mejoren y amplíen el conocimiento sobre la ocurrencia del agua, en cantidad y calidad. La fracción II. Considera como obras necesarias a aquellas que regulen y conduzcan el agua, garantizando la disponibilidad y aprovechamiento del agua en las cuencas

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 1.** Regulación aplicable en materia de agua para el presente proyecto

Organismo	Regulación	Extracto de la regulación aplicable
<p>Normas Oficiales Mexicanas (Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2022)</p>	<p>NOM-127-SSA1- 2021</p>	<p>Establecer las características del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento público y privados que la distribuyan</p>
<p>Ley del Aguas para el estado de Puebla (Secretaría de Gobernación, 2019)</p>	<p>Artículo 2</p>	<p>Establece en las fracciones IV la planeación, programación, conservación, mantenimiento de la infraestructura hídrica. En la fracción V declara de interés la desinfección, potabilización, almacenamiento y regulación del agua. En la fracción VII señala la prevención y control de la contaminación del agua</p>
<p>Plan de Desarrollo Municipal de San José Chiapa, Puebla (Ayuntamiento municipal, 2021)</p>	<p>Eje 1 Desarrollo Social y Salud</p>	<p>En esta sección el Municipio destaca como problema con prioridad baja el deficiente manejo de agua potable.</p> <p>Señalando como líneas de acción:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento a los pozos</li> <li>- Limpieza de los tanques de agua</li> <li>- Vinculación con dependencias especialistas en materia de revisión y evaluación de suministro de agua</li> <li>- Capacitar a los trabajadores</li> </ul>

Como puede observarse en la Tabla 1, existe gran cantidad de regulaciones aplicables para el acceso seguro al agua potable. La adecuada prestación de servicios públicos depende en gran medida del cumplimiento de un marco legal sólido. Es fundamental conocer los convenios, leyes y normas vigentes para evaluar el desempeño de los prestadores de servicios. Estos instrumentos legales establecen los estándares de calidad y las obligaciones de los prestadores, permitiendo a la autoridad competente realizar una evaluación objetiva y garantizar que los servicios se presten de manera eficiente y equitativa.

### 1.3 Tratamientos convencionales en la potabilización de agua en México

En México el objetivo de las plantas potabilizadoras es producir, a partir de un suministro, agua de calidad conforme a lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021. Para el cumplimiento se requiere de una serie de procesos que remueven los compuestos no deseados y permitan obtener agua de calidad (sin olor, sin color, sin sabor, libre de microorganismos patógenos, libre de compuestos químicos, sin turbidez, libre de material corrosivo incrustante). De acuerdo con CONAGUA, en el año 2022 se registraron 984 plantas potabilizadoras en operación, con una capacidad instalada conjunta registrada de 147 767.2 L/s, y un caudal potabilizado de 111 120.6 L/s (Tabla 2). Mientras que en el año 2020 se tenía un registro de 997 plantas potabilizadoras, con una capacidad total instalada de 152 682.6 L/s y un caudal potable de 117 617.9 L/s, lo que representa un decremento en el número de unidades potabilizadoras que se atribuye a problemas financieros y al término de la vida útil de los sistemas de potabilización (CONAGUA, 2022). La Tabla 2 muestra los tipos de procesos utilizados para dar tratamiento al agua en las diferentes unidades potabilizadoras. Como puede verse, la mayoría de las plantas emplean un tratamiento de clarificación, el cual es un proceso simple que no necesariamente asegura la calidad correcta del efluente. Alrededor del 1.7% utiliza la tecnología avanzada de ósmosis inversa, la cual es efectiva para eliminar químicos, microorganismos y sales indeseables.

**Tabla 2. Resumen de las plantas potabilizadoras en México, datos tomados del inventario nacional de plantas municipales de potabilización (CONAGUA, 2022)**

Proceso	Plantas		Capacidad Instalada		Caudal Potabilizado	
	No.	%	L/s	%	L/s	%
Ablandamiento	8	0.8	638.1	0.4	464.1	0.4
Adsorción	34	3.4	66.6	0.04	62.8	0.1
Clarificación convencional con sedimentador	395	40.0	115 689.4	76.0	88 979.2	78.1
Clarificación convencional con sistema de flotación con aire disuelto (DAF)	1	0.1	3 000.0	2.0	3 000.0	2.6
Filtración directa	103	10.4	12 903.0	8.5	9 077.5	8.0
Filtración directa con desgasificador	6	0.6	89.0	0.1	79.0	0.1
Filtración lenta	4	0.4	12 118.0	7.97	6 587.4	5.78
Ósmosis inversa	164	16.6	3 095.0	2.0	1 884.7	1.7
Ósmosis inversa con suavizador	234	23.7	82.2	0.1	79.4	0.1
Desaladora	25	2.5	700.4	0.5	584.7	0.5
Otros	14	1.4	3 749.0	2.5	3 087.5	2.7
<b>Total, Nacional</b>	<b>988</b>	<b>100</b>	<b>152 130.6</b>	<b>100</b>	<b>113 886.3</b>	<b>100</b>

La implementación de un nuevo sistema de potabilización requiere el historial, tendencias y características de la comunidad. Para determinar la capacidad media diaria es necesario multiplicar el suministro (demanda media diaria) *per-cápita* por la población estimada que será abastecida durante el periodo de diseño, en unidades de litros por segundo. El tamaño de planta depende también de la seguridad y potencia de la fuente de suministro. La fuente de abastecimiento puede ser superficial, subterránea o provenir de una fuente no convencional (agua de mar). El tipo de fuente (origen del agua) determina los elementos que se van a remover en la unidad de tratamiento. Por ello es importante considerar los siguientes datos: las condiciones climáticas, cantidad de agua que se puede obtener actualmente y a futuro, la calidad del agua, seguridad de operación, elementos que pueden contaminar la fuente de suministro, problemas de la construcción de la obra y la disposición para que la instalación crezca a futuro.

Para la disposición del sitio, es necesario que el terreno cumpla con las características básicas de mecánica del suelo y de topografía para realizar la obra que se plantea. Además, es necesario tener en cuenta: el acceso a las vías de comunicación, la seguridad para la operación, la posibilidad de expansión a futuro, la localización geográfica, la disponibilidad eléctrica y la disponibilidad del área. Para la financiación de la obra existen diversos métodos, los cuales cambian en cuanto a los requisitos y el tiempo; destacando: la generación interna de caja, los recursos federales o estatales, el financiamiento por medio de asociaciones públicas o privadas o bien, los créditos nacionales o internacionales. Para los estudios preliminares se realizan estudios de calidad de agua y pruebas de tratabilidad del sitio donde se ha decidido construir la obra, para seleccionar el proceso de tratamiento (Comisión Nacional del Agua, 2019).

En cuanto a los procesos de tratamiento de agua que se pueden implementar, la Tabla 3 describe algunos procesos propuestos para la remoción de contaminantes en el agua. Así mismo la norma 127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2022), señala métodos que pueden ser empleados para la remoción de un elemento que excede los límites permisibles. Dichos métodos empleados deben ser justificados a partir de pruebas de trazabilidad y estudios de calidad.

**Tabla 3. Procesos propuestos para la potabilización del agua de acuerdo con el contaminante, Fuente: (Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2022) (Comisión Nacional del Agua, 2019)**

Contaminante(s)	Proceso propuesto para el tratamiento
Microbiológica (bacterias, helmintos, protozoarios y virus)	Cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.
Características físicas y organolépticas (color, olor, sabor y turbiedad)	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado
Cianuros	Oxidación química, ósmosis inversa y electrodiálisis
Cromo	Nanofiltración; coagulación-floculación-sedimentación; ablandamiento químico; ósmosis inversa y electrodiálisis.
Arsénico	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa
Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa
Cloruros	Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación
Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico.
Fenoles o compuestos fenólicos	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono
Fierro o manganeso	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Fluoruros	Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa
Hidrocarburos aromáticos	Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 3.** Procesos propuestos para la potabilización del agua de acuerdo con el contaminante, Fuente (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2022) (Comisión Nacional del Agua, 2019)

Contaminante(s)	Proceso propuesto para el tratamiento
Mercurio	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 µg/L; adsorción en carbón activado granular en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 µg /L.
Nitratos y nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción
pH	Neutralización
Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular
Sodio	Intercambio iónico
Sólidos disueltos totales	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración o intercambio iónico.
Sulfatos	Intercambio iónico u ósmosis inversa
Sustancias activas al azul de metileno	Adsorción en carbón activado
Trihalometanos	Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular
Turbiedad	Coagulación-floculación-sedimentación- filtración; filtración directa aplicando un coagulante, ultrafiltración; microfiltración, filtración lenta en arena y filtración en múltiples etapas.
Zinc	Evaporación o intercambio iónico

#### 1.4 Situación de los recursos hídricos en México

Del ciclo hidrológico sólo una fracción del agua retorna a la atmósfera por evaporación, mientras que otra fracción se infiltra en los acuíferos a través de manantiales, o escurre a la superficie por redes naturales de drenado conocido como sistema de cuencas hidrográficas.

Las cuencas son unidades naturales de territorio, definidas por la existencia de una división de las aguas debida a la conformación del relieve. De acuerdo con datos de CONAGUA, se han identificado 1 471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales se han agrupado en 757 cuencas, que a su vez conforman 37 regiones hidrológicas y que se han agrupado en 13 regiones económicas administrativas. Mientras que las aguas subterráneas en el país se encuentran divididas en 653 acuíferos (SEMARNAT, 2022) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019).

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se tiene una disminución continua de la cantidad de agua renovable en México. De 1965 a 2018 cambio de una cantidad alrededor de 10 000 m<sup>3</sup> a 3 241 m<sup>3</sup> en el 2018.

En la Figura 3 se muestra la disponibilidad de agua por estados en el país. Las zonas del norte y centro recibieron en 2019 el 9% del agua renovable al año, mientras que las entidades del sureste reciben el 67.2%. Sin embargo, los habitantes de esta zona tienen menor acceso al agua, ya que no cuentan con el servicio de agua entubada dentro de la vivienda (INEGI, 2022).



**Figura 3. Agua renovable por habitante de cada entidad federativa, 2019, Fuente: (INEGI, 2022).**

Actualmente México se encuentra atravesando un estado de emergencia nacional por los bajos niveles de agua en las cuencas, por lo que se ha emitido un acuerdo para mitigar la sequía y priorizar el abasto de agua para uso doméstico y público urbano. Limitando el volumen de agua a los usuarios de las cuencas que se encuentran en condiciones de sequía severa, extrema o excepcional (Diario Oficial de la Federación, 2022).

Ejemplo de ello es el Valle de México que a partir de mayo del 2021 redujo la dotación de agua del sistema Cutzamala. En Guadalajara desde el mes de marzo, hay cortes del servicio de agua que afectan a miles de ciudadanos. En Monterrey, según las autoridades, algunos barrios acumularon 75 días sin agua en el 2022, debido a la crisis de sequía que está atravesando la ciudad (The New York Times, 2022). En el mes de noviembre se registraron cortes de agua en 108 colonias de Nuevo Laredo; debido a una serie de mejoras que se realizó en la planta de la ciudad (El mañana, 2022). Mientras que, en el estado de Puebla, todas las colonias carecen de un abasto de al menos 100 litros al día por persona, como recomienda la Organización Mundial de la Salud (Enciso & Dávila, 2022). Así mismo el

estado de Puebla ha sido señalado entre las primeras ciudades del país que se quedarían sin agua debido a la contaminación de la cuenca y el estrés hídrico (Llaven Anzures, 2022).

### 1.5 Municipio de San José Chiapa

El municipio de San José Chiapa se encuentra ubicado en la región norte del estado de Puebla, entre los paralelos 19°11' y 19° 19' latitud norte; y los meridianos 97°37' y 97°50' longitud oeste; contando con una altitud entre 2 300 y 2500 m (INEGI, 2010).

Presenta una topografía plana, ubicándose dentro de los llanos de San Juan, exhibe un clima templado semiseco con presencia de lluvias en verano en la parte oriental. Se encuentra catalogado dentro de la región hidrológica del Balsas y el uso del suelo es empleado para el desarrollo de la zona urbana y en mayor medida para la agricultura (INEGI, 2010).

El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano (81.10%) y semiseco templado (18.90%). Posee un rango de precipitación de 400-700 mm y una media de temperatura entre 14-16°C (INEGI, 2010).

Este municipio presenta un sistema de topofomas de tipo llanura aluvial con lomerío (53.26%), llanura de piso rocoso o cementado (45.52%) y llanura con lomerío (1.22%). Encontrando rocas de tipo ígnea extrusiva, con suelo aluvial y lacustre pertenecientes al periodo cuaternario (96.47%) y neógeno (0.22%). Pertenecer a la región hidrológica del Balsas y a la cuenca del Río Atoyac (INEGI, 2010).

El municipio se encuentra cubierto con pastizales de tipo halófilo, constituido por jarillos y romeritos. El suelo dominante es tipo solonchak (53.20%), regosol (23.79%), fluvisol (17.80%) y leptosol (1.90%). Con respecto a la fauna se encuentra el conejo, liebre, coyote, zorro, tejón, cacomixtle, tlalcoyote, águila real, halcón, tecolote, víbora de cascabel y tuza (Ayuntamiento municipal, 2021).

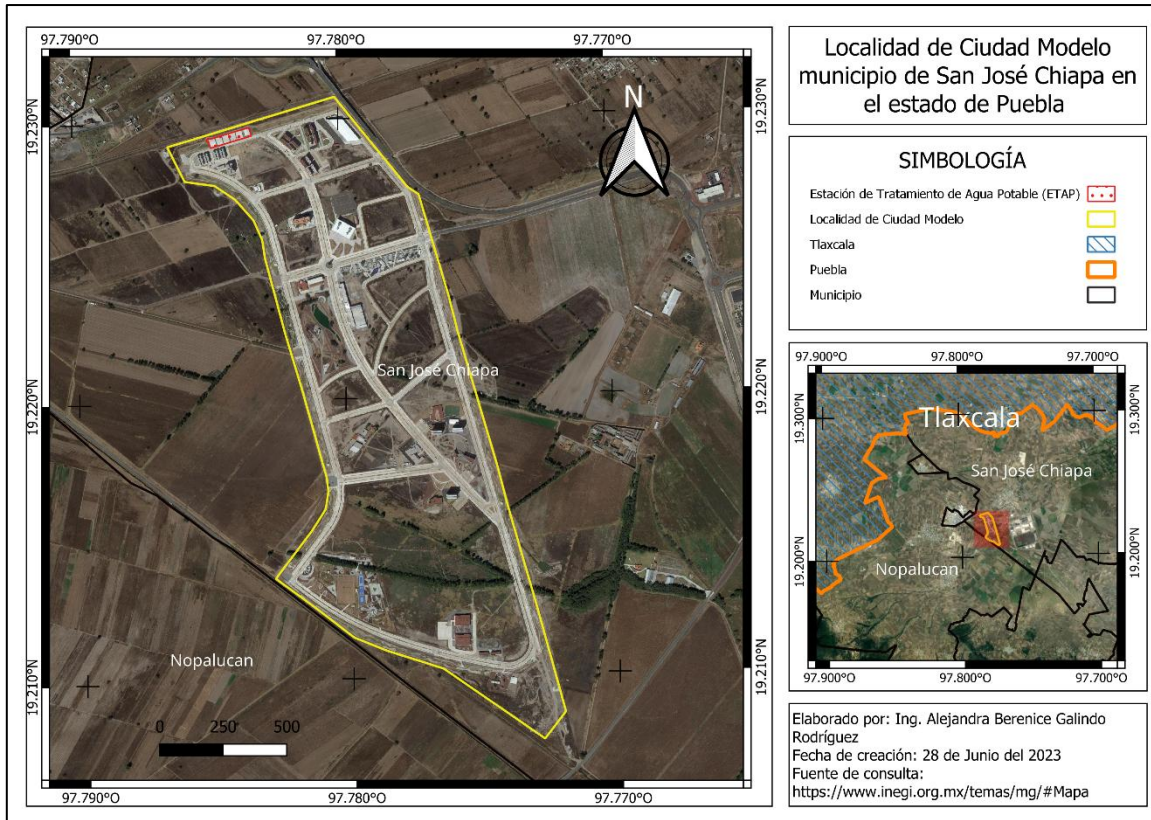
Este municipio posee una población de 10 443 habitantes de acuerdo con el censo de población (INEGI, 2020). Así mismo, cuenta con 27 localidades, destacando entre estas, la localidad de Ciudad Modelo antes conocida como Rancho de Santa Norma, derivado de una inversión estatal, cuyo objetivo es impulsar la zona para general un desarrollo regional por la instalación de la planta automotriz alemana AUDI.

Con lo anterior, se generó un Organismo Público Descentralizado para proveer a la localidad de personalidad jurídica y patrimonio propio. La localidad de Ciudad Modelo colinda al norte con los municipios de San José Chiapa, Rafael Lara Grajales, al oeste con Nopalucan, al sur con Mazapiltepec de Juárez y al este con San Salvador el Seco y Soltepec; como puede apreciarse en el mapa. De manera que los habitantes de estas regiones tienen acceso a dicho polígono, que actualmente posee un área de 1 641 680 m<sup>2</sup>.

Actualmente, la localidad cuenta con las siguientes instalaciones: un centro integral de servicios (CIS), un centro de salud y servicios ampliados (CESSA), una clínica del Instituto Mexicano del Seguro Social, tres zonas habitacionales, el parque metropolitano, el parque del deporte, el parque lineal, la plaza cívica, un centro de convenciones, una central de autobuses, un mercado, una estructura de servicio de hospedaje (Hotel La Quinta), una planta tratadora de aguas residuales (PTAR) y una estación de tratamiento de agua potable (ETAP), esta última fue inaugurada el 15 de agosto del 2012, abasteciendo a todo el polígono de Ciudad Modelo.

#### 1.6 Precedentes de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) en San José Chiapa

En la Figura 4 se muestra el mapa de la localidad de Ciudad Modelo, municipio de San José Chiapa, que se encuentra localizado en la zona centro- Oriente del estado de Puebla. El sitio limita al oeste con el municipio de Nopalucan y el municipio de Rafael Lara Grajales, al sur con el municipio de Mazapiltepec de Juárez y el municipio de Soltepec, al sureste con el municipio de San Salvador el Seco y al noreste con el municipio de Oriental.



**Figura 4. Localización geográfica de la localidad de Ciudad Modelo**

En 2012, la empresa automotriz alemana AUDI anunció su primera planta en América Latina, seleccionando al municipio de San José Chiapa, en el estado de Puebla. Por lo cual se realizó una inversión en la zona de alrededor de 1 000 millones de euros, lo que generó 5 000 empleos directos (Audi en México, 2022).

Así mismo, el programa Nacional de Vivienda 2014-2018, impulsaba el crecimiento ordenado de los asentamientos humanos, establecer ciudades compactas, productivas, sustentables y fomentar el acceso a la vivienda mediante soluciones habitacionales bien ubicadas (Programa Nacional de Vivienda 2014-2018, 2014).

La administración del gobierno del estado de Puebla contrató a la empresa española de consultoría, ingeniería y arquitectura IDOM para la elaboración de un plan maestro para establecer un crecimiento ordenado en la región donde se instalaría la nueva planta armadora, brindando calidad de vida al personal que labora en la empresa alemana. Con lo anterior, surgió la necesidad de impulsar la zona de San José Chiapa con las condiciones

necesarias para generar un desarrollo regional. Para ello se creó el nuevo núcleo urbano, denominado Ciudad Modelo en el municipio de San José Chiapa, una ciudad moderna, competitiva y sustentable capaz de afrontar el crecimiento poblacional.

Dicho proyecto consta de dos etapas de desarrollo. En la primera etapa, se dedicaron 150 hectáreas para resolver el problema de vivienda, por lo que se contemplaba la construcción de 600 viviendas, dos hoteles, dos clínicas y dos escuelas, entre otros edificios, para la segunda etapa se contempla la edificación de más zonas residenciales, plazas comerciales y edificios ejecutivos. Con la finalidad de que para 2030 pudiera alojarse a 100 000 habitantes en 600 hectáreas de terreno (IDOM, 2022) (Cruz, 2022), ya que se espera el crecimiento progresivo de la zona.

El polígono de Ciudad Modelo se encuentra dirigido por un Organismo Público Descentralizado (OPD), el cual se encarga de asegurar a los habitantes y visitantes los servicios, equipamientos y recreación necesarios para desarrollar sus actividades diarias. Este nuevo núcleo urbano busca beneficiar a los municipios de Mazapiltepec de Juárez, Nopalucan, Rafael Lara Grajales, San José Chiapa y Soltepec, difundiendo el desarrollo económico, la inclusión social y la calidad de vida (Secretaría de Planeación y Finanzas Gobierno de Puebla, 2022).

La situación actual de la población:

a) Servicios Públicos al 100% de cobertura y funcionamiento:

- Agua potable y alcantarillado
- Seguridad pública
- Gas natural
- Telecomunicaciones
- Alumbrado público
- Transporte público
- Recolección de basura
- Mantenimiento de vialidades, parques y jardines

b) Matrícula educativa:

- Universidad Tecnológica Bilingüe Sustentable (UTBIS):385 estudiantes

- Centro Escolar Dr. y Gral. Rafael Moreno Valle: 1,021 estudiantes
- Campus regional BUAP: 442 estudiantes

c) Vivienda:

- Departamentos construidos: 597

En la Figura 5 se muestra la localidad de Ciudad Modelo en el municipio de San José Chiapa, donde se localiza la planta potabilizadora que se pretende estudiar. Dicha unidad se encuentra operando desde el año 2017 y opera bajo la NOM-127-SSA1-2021. El agua se extrae del manto freático por medio de dos pozos y se almacena en tanques contenedores posteriormente para tratar el agua por un proceso de filtración rápida. La planta potabilizadora bombea 25 litros por segundo y no opera de manera continua.

Es importante señalar que el servicio de agua potable, drenaje y alcantarillado son proporcionados por la comisión estatal de agua y saneamiento del estado de Puebla (CEAS-PUE).



**Figura 5. Ubicación geográfica de la Planta Potabilizadora**

### 1.7 Desempeño ambiental de las plantas potabilizadoras

El desempeño ambiental de una planta de tratamiento de agua potable trasciende su mera función de potabilización. Se erige como un pilar fundamental en la construcción de un futuro sostenible, donde la gestión eficiente de los recursos hídricos y la minimización del impacto ambiental son imperativos. Evaluar este desempeño no es solo un requisito normativo, sino una decisión estratégica que posiciona a las plantas de tratamiento como agentes activos en la mitigación del cambio climático y la preservación de los ecosistemas acuáticos. Al demostrar un compromiso con la sostenibilidad, estas plantas fortalecerían su papel social (Alegre, Bautista, & Cabrera, 2016). La huella ecológica (HE), que mide la demanda que una actividad ejerce sobre los recursos naturales, es una herramienta fundamental para evaluar el desempeño e impacto ambiental de estas instalaciones. Esta herramienta considera en su evaluación el consumo de energía, la generación de residuos, la eficiencia de los procesos y la calidad del efluente para determinar el grado en que una planta contribuye a la degradación o a la conservación del medio ambiente.

La huella ecológica (HE), fue desarrollada en 1996 por Wackernagel y Ress, es un indicador integral que define el crecimiento económico sustentado en la capacidad de los recursos naturales que consume. Para las empresas, la huella ecológica es capaz de tomar un impacto ambiental determinado y, a través de su metodología, convertir este impacto en una medida de tierra (hectáreas). Una vez considerados y medidos todos los impactos ambientales, la huella ecológica se convierte en la superficie total de terreno necesaria para mantener a una empresa en términos de los recursos que consume y los residuos que produce. Actualmente, el término y cálculo ha evolucionado para determinar la huella de carbono, huella energética o huella hídrica.

El cálculo de la HE puede realizarse a partir de sub- huellas:

- I. Sub- huella energía ( $SH_{\text{ENERGÍA}}$ ): se basa en el cálculo de los portadores energéticos convirtiendo los KWh en GJ/año.

- II. Sub- huella de los insumos ( $SH_{\text{INSUMOS}}$ ): se obtiene del cociente entre el consumo anual de los materiales empleados entre el combustible empleado en el proceso.
- III. Sub- huella de superficie construida ( $SH_{\text{SUPFCONST}}$ ): se refiere a la superficie de la construcción.
- IV. Sub- huella de gastos indirectos ( $SH_{\text{GINDIRECTOS}}$ ): se refiere a los gastos indirectos en la prestación del servicio o la fabricación de un producto.
- V. Sub- huella de residuos y vertidos ( $SH_{\text{RESIDUOS}}$ ): son los restos generados como consecuencia de fabricación de un producto.

Dentro de la metodología de huella ecológica- huella del carbono, se encuentra la huella ecológica corporativa (HEC), la cual es una herramienta que establece objetivos concretos de sostenibilidad ambiental, permite la integración de indicadores y aporta un método de decisión; ya que se analiza el impacto de cualquier producto a lo largo de su ciclo de vida. Es importante señalar que los primeros trabajos de la HEC se desarrollaron a partir del año 2001. Algunos de los métodos para su análisis son:

- i. Análisis input- output (insumo-producto), para el sector económico permitiendo obtener un nivel de consumo final (Carballo Penela, García Negro, & Doménech Quesada, 2008).
- ii. Método compuesto de las cuentas contables (MCCC), desarrollado por Doménech. El cual se basa en la matriz consumos y superficies. Por lo que se genera una lista categorizada de consumos, desechos generados y el uso de suelo (González- Díaz, Rodríguez- García, & Matos-Domínguez, 2021).
- iii. Aproximación de los componentes, en el que señalan las actividades o componentes principales de la HE, expresando cada uno en unidades de consumo por hectárea.

Dentro de las desventajas de este método, se encuentra la capacidad de los componentes para recoger la totalidad de HE (Monfreda, Wackeragel, & Deumling, 2004).

Al adoptar a la huella ecológica como perspectiva de desempeño o impacto ambiental es posible identificar los puntos críticos en el proceso de tratamiento, y proponer medidas de mejora para reducir el impacto ambiental de la potabilizadora. Aunque la huella ecológica presenta algunas limitaciones, como la dificultad de cuantificar ciertos impactos ambientales, sigue siendo una herramienta valiosa para la toma de decisiones en materia de gestión ambiental.

# **METODOLOGÍA**

---

---

En este capítulo se describen los materiales y la metodología seguida para cada uno de los objetivos particulares:

## **2.1 Determinación de las condiciones operativas y tecnológicas de la Estación del Tratamiento de Agua Potable (ETAP)**

Para la realización del objetivo específico 1, se reunieron todos los antecedentes técnicos posibles, tales como: planos, manuales, documentación y fichas de datos generales sobre la estación de tratamiento de agua potable de la localidad de Ciudad Modelo (ETAPCM), mediante una solicitud a la Dirección General de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla (CEAS Pue); así como también se solicitaron documentos adicionales en las visitas propuestas; lo que permitió determinar el estado operativo y tecnológico actual (2023).

Durante el transcurso del año 2023 se realizaron tres visitas de campo, cuyo propósito en cada una fue:

1. Identificar las etapas diseñadas originalmente de la ETAPCM y aquellas que actualmente se encuentran operando. Por otro lado, en lo que respecta a los datos técnicos y operativos de la ETAPCM, se desarrolló una ficha técnica en la cual se concentran los datos generales. Tomando como guía un instrumento ajustado propuesto por la CONAGUA, 2019, que se encuentra en el Anexo 1.
2. En la segunda visita se recolectaron muestras de agua en la entrada y salida del proceso de potabilización, de acuerdo con lo establecido en la NOM 230-SSA1-2002, sobre muestreo. Además, se llevó a cabo un recorrido por las instalaciones de la ETAPCM, para la valoración de la planta de acuerdo con el tipo de planta potabilizadora, mediante un instrumento que fue ajustado a las características de la ETAPCM, este documento se presenta en el Anexo 2.
3. En la tercera visita nuevamente se recolectaron muestras de agua al inicio y final del proceso. Así mismo, se realizó de nuevo un recorrido por las instalaciones para la valoración operativa y tecnológica de la ETAPCM.

La valoración operativa se realizó por medio de una modificación de la guía de “Evaluación rápida de plantas potabilizadoras” propuesto por la CONAGUA, 2019, los aspectos a considerar en este instrumento incluyen:

- a) La descripción detallada de cómo se lleva a cabo el proceso de potabilización en la ETAPCM. Se elaboró conforme a la explicación del personal de la ETAPCM y la documentación técnica recabada en el Anexo 3 al 6, para identificar y registrar las diferentes actividades que se desarrollan en el proceso de potabilización.
- b) La comparación de los parámetros de diseño contra los parámetros operativos tales como: temperatura, flujo de líneas de proceso, composición, presiones de carga y descarga, capacidades de almacenamiento, entre otros. Además, se incluyen las operaciones unitarias, sus características y el estado en que se encuentran, se realizó mediante el Anexo 7, cotejándolos con los datos operativos reales, que se encuentran en el Anexo 8 de la ETAPCM.
- c) Un análisis de la integridad de todos los sistemas hidráulicos, mecánicos y eléctricos. Se realizó la valoración de la integridad de los sistemas mecánicos y eléctricos mediante el empleo de los siguientes criterios. Para el aspecto hidráulico, se verificó la presencia de grietas, fisuras y fugas; mientras que para el aspecto mecánico el criterio a evaluar fue que los equipos se encuentren instalados y operando conforme a las indicaciones del fabricante; por último, para el aspecto eléctrico se valoró el criterio de deterioro (Anexo 9 al 11).
- d) El manejo y disposición de productos químicos. Se realizó por medio de un instrumento ajustado a las características de la ETAPCM propuesto por CONAGUA, 2019 (Anexo 12). En este anexo se presentan diversos conceptos sobre el registro de los materiales, cantidad empleada en cada turno, almacenamiento, disposición de un área de residuos, protocolo de manejo de residuos, entre otros; dichos conceptos fueron valorados por una correspondencia (Si cumple o No cumple), utilizando la explicación de las actividades durante el recorrido de la planta, los hallazgos se reportan en el Anexo 12.

Por último, la valoración tecnológica se realizó a partir de las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos en cada etapa del proceso reportadas de manera oficial (memoria de cálculo disponible) y se compararon con los datos técnicos y recabados durante las visitas (Anexo 13). De la misma manera, se compararon las especificaciones técnicas por medio de una correspondencia (Sí cumple o No cumple).

## 2.2 Caracterización del agua en la Estación de Tratamiento de Agua Potable

Los muestreos de agua se realizaron en la línea cruda que corresponde al flujo proveniente del pozo, y en el efluente de salida de agua tratada en dos temporadas del año (temporada de lluvia y de sequía). Los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua se determinaron usando el Fotómetro multiparámetro HI 83099, en el Anexo 14 se muestran las características de la técnica y especificaciones técnicas del equipo.

La Tabla 4, se muestran los parámetros determinados en este estudio, así como los límites permisibles y el método de prueba aplicado.

**Tabla 4. Parámetros de calidad de agua determinados en este estudio para el agua proveniente de la ETAPCM**

Parámetro	Método empleado
Color verdadero	Método colorimétrico del platino-cobalto
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	Método Calcio – calmagita (HI 93729-01) Magnesio – EDTA
Nitratos	Adaptación del método de reducción de cadmio (HI 93728-01)
Sulfatos	Método de precipitación en cristales de sulfato
Hierro	Método Fenantrolina
Níquel	Adaptado del método 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol PAN
Cloro residual libre	Método N, N Dietil parafenilendiamina (DPD)

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 4.** Parámetros de calidad de agua determinados en este estudio para el agua proveniente de la ETAPCM

Parámetro	Método empleado
Demanda Química de Oxígeno	Método colorimétrico de dicromato
Magnesio	Adaptado del método 1-(2-Pyridylazo)-2-Naphthol PAN
<i>E. coli</i>	NMX-AA-042-SCFI-2015

### 2.3 Identificación de áreas de oportunidad a partir de diagramas de proceso

Como parte del alcance del objetivo particular 3, se diseñó un diagrama de bloques actualizado del proceso de potabilización de agua de la ETAPCM, el cual se muestra en la Figura 9, donde se integran todos los hallazgos operativos y técnicos. Para su categorización en la identificación de áreas de oportunidad se incluyen breves descripciones tanto de la operación como de las mejoras que debería considerarse y/o implementarse para aumentar tanto la eficiencia como la productividad ETAP. También se destacan los cambios y/o reparaciones de carácter preventivo y correctivo para lograr el funcionamiento de la planta (Anexo 15).

Posteriormente, se desarrollaron los diagramas de flujo de proceso integrales correspondientes a cada una de las etapas de las operaciones unitarias que conforman el proceso. En estos diagramas han sido incluidos aquellos elementos básicos para una correcta operación y aquellos que permitirían alcanzar el máximo rendimiento.

## 2.4 Estimación de la huella ecológica de la ETAPCM identificando áreas de impacto ambiental

Para la realización del objetivo específico 4, se determinó la huella ecológica corporativa (HEC), de la ETAPCM a través del “método compuesto de las cuentas contables” (MCCC), propuesta por *Doménech et al. 2009*, el cual se basa en una matriz de consumo- superficie. Se empleó una hoja de cálculo ajustada a las condiciones de la ETAPCM (Tabla 14), cuya estructura se compone de cinco columnas. La primera columna corresponde a las subcategorías a evaluar correspondientes a las categorías energía, uso del suelo y recursos forestales. La segunda columna corresponde al consumo anual, y se encuentra dividida en: unidades de consumo al año, en moneda nacional mexicana [MXN\$/año], en toneladas [t/año], en intensidad energética [GJ/t] y en giga julios [GJ/año]. La tercera columna corresponde la productividad, la cual es expresada en productividad natural [t/ha· año] y en productividad energética [GJ/ha· año] y contiene las constantes reportadas para cada subcategoría. La cuarta columna corresponde a la huella por tipo de ecosistema: energía fósil, bosque y terreno construido, y se obtienen multiplicando la categoría productividad por el factor de equivalencia de 1.13868813 para los casos de las huellas “energía fósil” y “bosque”; mientras que se usó la constante 2.82187458 para el cálculo de la huella ecológica “terreno construido”; esta multiplicación final es necesaria para expresar la demanda de cada (sub)categoría en la unidad común de hectárea [ha·fe]. Una hectárea representa la productividad biológica promedio de una hectárea de tierra a nivel mundial. A continuación, la quinta columna correspondiente a la huella total [ha·fe], que es la suma de las huellas por tipo de ecosistema calculadas en la columna cuatro. Las unidades “fe” son indicativas de que se ha empleado un factor de equivalencia (Wackernagel *et al.*, 1999). Finalmente, para transformar la huella en unidades de ha·fe a tCO<sub>2</sub> se multiplica por el factor de conversión 5.21.

## **2.5 Reconocimiento de las relaciones del objeto de estudio y los actores clave**

Para determinar los factores asociados al funcionamiento de la ETAPCM del objetivo particular 3, se realizó primero la identificación de los diversos tipos de ambiente y actores clave, que intervienen en el sistema de estudio. Por tal motivo, se diseñó un diagrama en Figura 13 para exponer la jerarquización de los subsistemas implicados que funcionan como una totalidad. Así, mismo se diseñó un mapa de actores clave (MAC) en la Figura 14, para conocer la realidad social en el que se desarrolla el objeto de estudio, permitiendo un mayor entendimiento y establecer estrategias de cambio (Tapella, 2007).

## **2.6 Análisis de las dimensiones del estudio**

El cumplimiento del objetivo 6, se realizó mediante el empleo del método etnográfico, el cual se caracteriza por la observación y el uso de la reflexibilidad para la construcción sociohistórica. Por lo que en este trabajo se emplearon las siguientes técnicas:

- i) Diario de campo, para registrar información tanto cuantitativa, cualitativa, descriptiva y analítica; permitiendo profundizar sobre situaciones, dar secuencia a un proceso de investigación e intervención y disponer de datos para la labor evaluativa posterior (Valverde Obando, 1993).
- ii) Encuestas empleando como instrumento un cuestionario estandarizado (Meneses & Rodríguez, 2011).

Durante el transcurso del año 2024 se realizaron tres visitas de campo, cuyo propósito en cada una fue:

- I. La primera visita, fue realizada el 01 de abril del 2024. Se llevó a cabo una observación no participativa, en la que se desarrolló un diario de campo en el cual se concentra la descripción de la localidad de Ciudad Modelo. Tomando como guía un instrumento ajustado propuesto por Obando, 1993, que se encuentra en el Anexo 16. Se pudo observar el dinamismo de la localidad de Ciudad Modelo.

- II. La segunda visita, realizada el 15 de abril del 2024, permitió una observación no participativa que se enfocó en la zona estudiantil del polígono de Ciudad Modelo, para el análisis de la actividad y el crecimiento de esta área.
- III. Por último, el 01 de mayo del 2024 se realizó una visita a la zona habitacional de la localidad de Ciudad Modelo para la comprensión del dinamismo de los pobladores, así mismo se aplicó una encuesta y se realizó una observación no participativa.

Con la información del diario de campo, y las dimensiones e indicadores para evaluar desempeño ambiental, reportadas por *Cossio et al.*, 2020 (Tabla 5) se diseñó un cuestionario para recabar los datos necesarios.

**Tabla 5. Indicadores estándar de la literatura utilizados para evaluar la sustentabilidad, para ser aplicados en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) modificado (Cossio et al., 2020)**

Dimensión	Indicador	Descripción
Ecológico	Calidad del efluente	Aceptabilidad del tratamiento del efluente
Social	Aceptación pública	Opinión de la población local afectada por la planta
	Estética	Nivel medido de molestia (olor, ruido, impacto visual y plagas)
	Percepción del servicio	Opinión de la población sobre la calidad del agua (color, olor, sabor y sólidos)
Económica	Asequibilidad	Costo del servicio asequible a los usuarios vinculado a la disposición a pagar y reflejado en el porcentaje de deuda de los usuarios
Técnica	Seguridad	Infraestructura

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 5.** Indicadores estándar de la literatura utilizados para evaluar la sustentabilidad, para ser aplicados en una Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) modificado (Cossio et al., 2020)

Dimensión	Indicador	Descripción
	Complejidad de la construcción, operación y mantenimiento	Sofisticación de la construcción de la planta y la instalación de los sistemas; variedad de operaciones y mantenimiento; habilidades profesionales requeridas para la operación y el mantenimiento
Institucional	Colaboración	Relación entre la asociación de agua y el municipio, las universidades locales y las instituciones de salud
	Información	Información general distribuida a los usuarios sobre la estación de tratamiento de agua potable

El cuestionario (Anexo 17) se dividió en tres secciones: en la primera sección, se recabó información sociodemográfica mediante 5 ítems como edad, tiempo de residencia, lugar de origen, etc. En la segunda sección, se recopiló información sobre la relación de la comunidad con el servicio de agua potable, por medio de 12 ítems (origen, destino del agua potable, uso del agua en casa, etc.). En la última sección, se recopilaron datos sobre los indicadores de las cinco dimensiones por medio de 14 ítems (satisfacción con la calidad de agua, satisfacción con el costo económico del servicio, conocimiento sobre el proceso de potabilización, etc.). En esta sección, se usó la escala de Likert para calificar cada pregunta, con valor de 1 a 5, desde nada satisfecho (1), poco satisfecho (2), neutral (3), muy satisfecho (4) y totalmente satisfecho (5).

Para facilitar el análisis y la interpretación, se agruparon las categorías de desempeño original (“Nada satisfecho y poco satisfecho”, “Neutral”, “Muy satisfecho y totalmente satisfecho”) en tres nuevas: “Insuficiente” (agrupando las dos primeras), “Suficiente” (equivalente a “Neutral”) y “Adecuado” (agrupando las dos últimas). Esta recategorización permitió una visualización más clara del desempeño general.

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

---

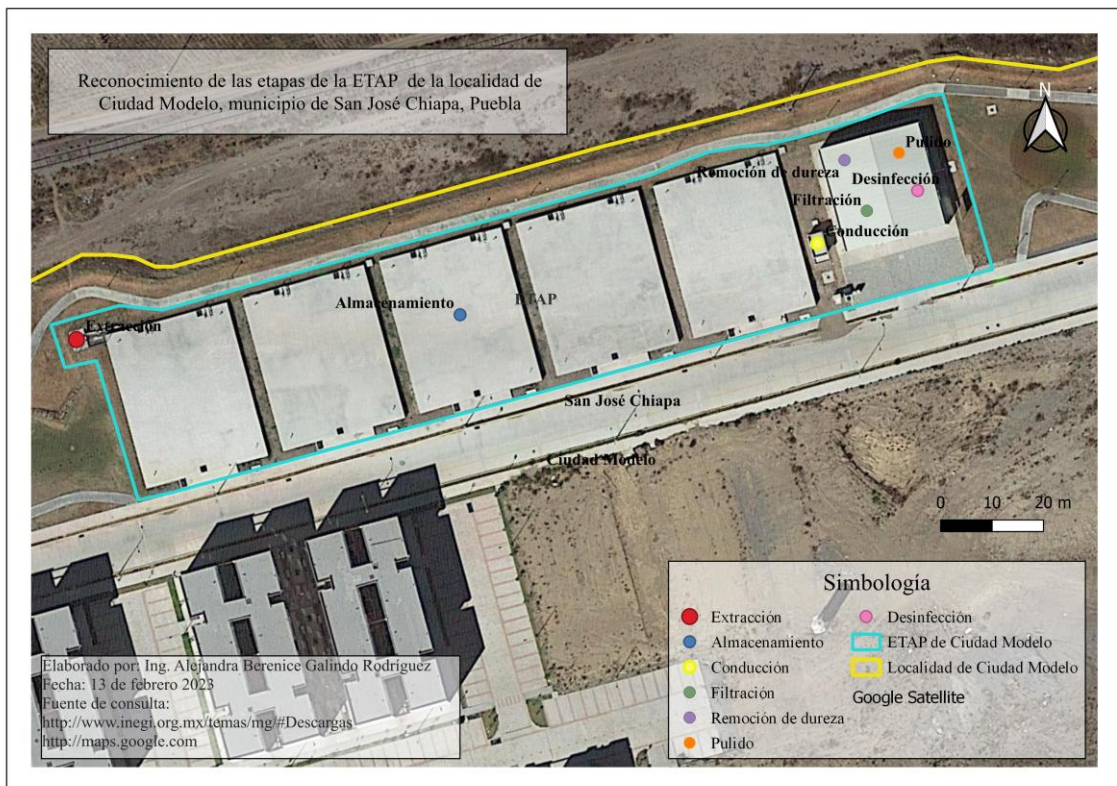
### **3.1 Condiciones operativas y tecnológicas actuales de la ETAPCM**

En este apartado se reportan los resultados recabados de la ETAPCM, así mismo se presentan un resumen de cada documento siendo importante destacar:

- I. El Anexo 3. Manual de operación de la planta potabilizadora de Ciudad Modelo, menciona aspectos sobre la administración de la planta, seguridad e higiene, primeros auxilios y se presenta una breve descripción del proceso y operación de cada etapa que compone el proceso.
- II. El Anexo 4. Manual de instalación y operación de potabilizadora, se presentan las fichas técnicas de los equipos empleados en el tratamiento de potabilización, no cuenta con las fichas técnicas de las bombas sumergibles, ni especificaciones de los tanques atmosféricos. Así mismo no presenta los procedimientos de operación de la ETAPCM.
- III. El Anexo 5. Plan de trabajo, presenta un cronograma de actividades generales; sin embargo, no se describen los procedimientos de las acciones a realizar en cada equipo.
- IV. El Anexo 6. Bitácora de la ETAPCM, registra las actividades relevantes realizadas en cada turno y los m<sup>3</sup> de agua potabilizada y abastecidos a la localidad de Ciudad Modelo.

Este apartado permitió identificar la falta de información técnica de la ETAPCM, ya que no se cuenta con memoria de hoja de cálculo, diagramas de flujo de proceso, ni una descripción detallada sobre la operación de la planta.

Por otro lado, en lo que corresponde a las visitas de campo a la ETAPCM, en el municipio de San José Chiapa, se realizaron tres visitas en el presente año (2023), la primera visita de campo se realizó el 04 de enero del 2023, en la cual se llevó a cabo un reconocimiento de las etapas de tratamiento de la ETAPCM, mediante la Figura 6, la cual proporciona una imagen híbrida que combina la vista satélite y la vista normal. Cada etapa fue identificada a través de un color que se aprecia en la simbología.



**Figura 6. Localización de las etapas de la ETAPCM**


Así mismo, se realizó un recorrido, donde se identificó cada etapa, mediante un reconocimiento fotográfico de las instalaciones que se aprecian en la Tabla 6.

**Tabla 6. Identificación de las etapas de la ETAPCM**

Etapa	Fotografía	Descripción
Extracción		Instalaciones del pozo número uno con su arreglo de accesorios para la extracción de agua
		Instalaciones del pozo número dos con su arreglo de accesorios para la extracción de agua
Almacenamiento		Arreglo de cinco tanques atmosféricos con sus accesorios para el almacenamiento del agua proveniente de la etapa anterior
Conducción		Arreglo de tres bombas centrífugas, las cuales transportan el agua cruda contenida en los tanques atmosféricos a la etapa de filtración
Filtración		Arreglo de tres tanques hidroneumáticos y dos filtros tipo “Y” con canastilla de acero inoxidable para la remoción de sólidos de gran tamaño


Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 6.** Identificación de las etapas de la ETAPCM

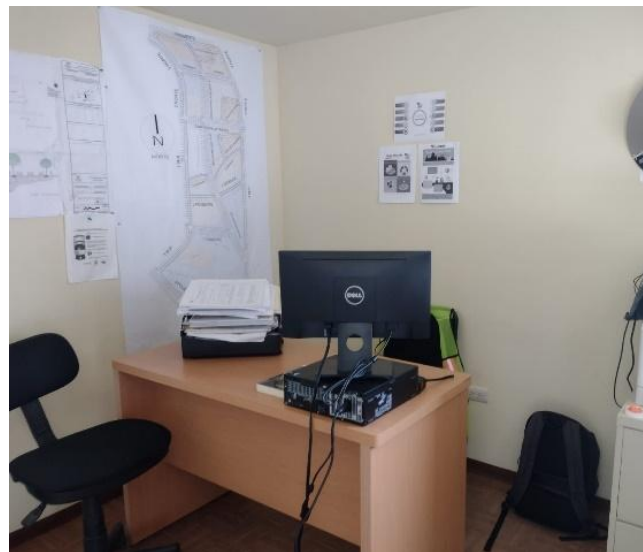
Etapa	Fotografía	Descripción
Filtración		Tren de cuatro tanques con material de tipo zeolita y cuatro tanques empacados con material de tipo carbón activado
Remoción de dureza		Arreglo de ocho unidades de tanques tipo suavizadores con material tipo resina catiónica
		Arreglo de diez tanques anti-sarro con sus accesorios, que previenen y protegen contra el sarro sin sustancias químicas
Pulido		Arreglo de seis tanques y sus accesorios para la recolección de sólidos
Desinfección		Tren de desinfección física compuesto por dieciséis lámparas UV

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 6.** Identificación de las etapas de la ETAPCM

Etapa	Fotografía	Descripción
Desinfección		Sistema de desinfección química acoplado a la línea principal de agua tratada

Por otro lado, en lo que respecta a la documentación técnica recabada se comparó con la información que se encuentra en la ETAPCM. Dicha información se encuentra registrada en un dispositivo de cómputo en la oficina del supervisor de la planta potabilizadora, como se aprecia en la Figura 7. Por lo que se comprueba la correspondencia, el manejo de la información y la competencia de la institución para cumplir con sus funciones de gestión.



***Figura 7. Oficina del supervisor de la planta potabilizadora***

Tanto la visita de campo, como la recolección y verificación de información documental, permitieron producir un documento de síntesis, el cual se reporta en la Tabla 7.

**Tabla 7. Ficha de datos generales de la ETAPCM, San José Chiapa, Puebla**

Característica	Resultado
Nombre de la ETAP	Planta potabilizadora de Ciudad Modelo
Ubicación	Calle 4 Poniente
Coordenadas geográficas	19°13'46.42" N y 97°47' 00.25" O
Localidad a la que abastece	Ciudad Modelo
Tipo de planta potabilizadora	Clarificación de patente
Año en que entró en operación	2017
Año de construcción	2016-2017
Capacidad de diseño	90 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Etapas	7
Operación	3 días a la semana en promedio
Capacidad de almacenamiento	2 000 m <sup>3</sup> por tanque tipo cisterna
Número de operadores que laboran en la planta	2
Entidad administrativa a la que pertenece la estación de tratamiento de agua potable	Estado de Puebla (CEAS PUE)
Fuente de suministro	Pozo
Conducción del agua	Bombeo

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 7.** Ficha de datos generales de la ETAPCM, San José Chiapa, Puebla

Característica	Resultado
Empresa que diseño la ETAP	Grupo Pisari MR
Rehabilitaciones recientes	2023 mantenimiento correctivo
Cambios de diseño, unidades o proceso	No se han realizado cambios de diseño y sólo se reemplazaron los cartuchos plegables correspondientes a la etapa de pulido y las lámparas UV en este año (2023)
Información técnica de la planta	No cuenta con memoria de cálculo, ni planos de diseño; sin embargo, cuenta con un manual de operación, un manual de instalación, un plan de trabajo y una bitácora.
Historial de rehabilitaciones de la planta	2023: Se realizó una rehabilitación de tipo correctiva debido a problemas hidráulicos en la etapa de filtración y remoción de dureza.  2021: Se realizó una rehabilitación de tipo correctiva en la etapa de conducción debido a problemas hidráulicos.

La segunda visita fue realizada el 13 de febrero del 2023, en la cual se recolectaron dos litros de muestras de agua en la entrada y en la salida del proceso de potabilización de la ETAPCM, conforme lo establecidos por la NOM-230-SSA1-2002, procedimientos sanitarios para el muestreo.

Además, se realizó la valoración de la ETAPCM, la cual se presenta en la Tabla 8, así mismo en el Anexo 7 se presenta la evaluación completa que incluye los factores que si se cumplen.

**Tabla 8. Factores que no se cumplen en la fase de evaluación de planta paquete o de patente**

Concepto	Observación
¿Se lleva control de calidad del influente y el efluente?	Parcialmente, ya que sólo se cuentan con kits para la determinación de cloro residual, pH y dureza
¿Se conoce el volumen del carbón activado de las unidades filtrantes? ¿Cuál sería?	N/D
¿Se implementa el retrolavado como el resultado del criterio de caída de presión?	No, ya que no se cuenta con los instrumentos (manómetros) para conocer la caída de presión
¿Se comprueba la calidad del agua a la salida del filtro de carbón activado?	No se realiza
¿Se conoce el número de unidades empacadas con carbón activado?	Consta de 4 filtros
¿Se conoce el área superficial del carbón activado?	N/D
¿Se conoce la densidad aparente del carbón activado? ¿Cuál es?	N/D
¿Se conoce el tiempo de retención del carbón con el agua?	N/D
¿La planta potabilizadora cuenta con laboratorio?	Existe el sitio para el laboratorio, sin embargo, no se cuenta con equipo especializado para la realización de las pruebas
¿Se realizan pruebas de trazabilidad para el control del proceso?	Parcialmente, ya que sólo se cuentan con kits para la determinación de cloro residual, pH y dureza
¿Se conoce el volumen del carbón activado de las unidades filtrantes? ¿Cuál sería?	N/D
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros de zeolita?	No es posible determinar la carga ya que no se cuenta con el arreglo típico propuesto por el fabricante
¿Se comprueba la calidad del agua a la salida del filtro de zeolita?	No se realiza

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 8.** Factores que no se cumplen en la fase de evaluación de planta paquete o de patente

Concepto	Observación
¿Se conoce el tiempo de retención de la zeolita?	N/D
¿Se conoce la velocidad de retrolavado?	N/D
¿Se conoce como determinar la dosis y concentración adecuada de la salmuera?	N/D
¿Se conoce la densidad que debe tener la salmuera?	N/D
¿Se conoce la conformación y el número de unidades de la etapa de intercambio iónico?	Conformación en paralelo, que cuenta con 8 tanques de intercambio iónico.
¿Se conoce la tasa de regeneración de resina con salmuera?	N/D
¿Se conoce el tiempo de contacto de la resina y el agua?	N/D

Nota:

N/D: No disponible

La tercera visita se realizó el día 11 de julio del 2023, en la cual fueron recolectados dos litros de muestras de agua al inicio y al final de la ETAPCM, de acuerdo con la metodología empleada en la segunda visita.

En la tercera visita se realizó el día 11 de julio del 2023 se realizó la valoración operativa y tecnológica de la ETAPCM, por lo que a continuación se describe el primer aspecto, el cual considera la descripción detallada de cómo se lleva a cabo el proceso de potabilización:

El abastecimiento de agua potable a la localidad de Ciudad Modelo se realiza los lunes, miércoles y viernes en un turno de 9 am a 6 pm. El operador de la planta potabilizadora está encargado de la inspección física del sitio, encender bombas y lámparas de desinfección, así como de medir los volúmenes de los tanques atmosféricos de almacenamiento. El proceso de tratamiento de agua comienza por paso del líquido a través de la etapa de filtración, atraviesa dos filtros gruesos tipo “Y” conectados en paralelo, que remueven sólidos de gran tamaño (5 mm), en seguida es conducida al área de filtros micro “Z” que se encuentran conectados en paralelo, donde quedan retenidos sólidos finos (5  $\mu$ m). Después el agua atraviesa los filtros conectados en paralelo de carbón activado para la remoción de color, olor, sabor, materia orgánica y cloro. Es importante señalar que tanto para los tanques de micro z como los de carbón activado se realiza una actividad de mantenimiento conocido como retrolavado una vez cada quince días, por lo que manualmente se inicia la tarea de programar el controlador de cada equipo.

Enseguida se encuentra la etapa de remoción de dureza, la cual se compone de ocho tanques empacados con material de tipo resina catiónica conectados en paralelo. Esto disminuye la dureza del agua mediante un proceso de intercambio iónico, que consiste en el intercambio de iones entre la resina catiónica y el agua; por lo que se remueven los iones de calcio y magnesio. Cabe señalar que dichos tanques poseen un controlador que, a los cuatro mil litros tratados, inicia el proceso de regeneración de la resina catiónica. Enseguida el agua pasa por diez filtros antiincrustantes conectados en paralelo, que mediante un mecanismo de cristalización por nucleación asistida forman microcristales inofensivos que quedan suspendidos en el agua y viajan a través del medio, evitando la acumulación de sarro en tuberías. A continuación, el agua pasa por dos filtros tipo “Y” conectados en paralelo, para

la remoción de sólidos (5 mm), e inmediatamente pasa una línea denominada como pulido la cual se encuentra conectada en paralelo y consta de seis unidades que contienen cada una en su interior un cartucho plegado donde se retienen sólidos de 50 micrones. Inmediatamente, el líquido pasa a la etapa de desinfección física por lo que es conducido por cuatro tanques conectados en paralelo que contienen cada uno cuatro lámparas UV. Finalmente se realiza la desinfección química por medio de un dosificado de hipoclorito de sodio al 13 % mediante una bomba dosificadora.

Una vez terminada la actividad de abastecimiento de agua se realiza un registro de los metros cúbicos potabilizados mediante la toma de lectura del flujómetro y se procede a apagar las lámparas UV, la bomba dosificadora de cloro y la bomba centrífuga.

En el segundo aspecto “Comparación de los parámetros de diseño contra los datos operativos reales” se comparan los parámetros de diseño contra los datos operativos de todas las etapas que se encuentran actualmente trabajando. En el Anexo 8 se muestra que en ninguna de las etapas ni en los equipos se tiene registro de los datos de operación reales, aunque es importante resaltar que se encuentra en funcionamiento todos los equipos inventariados.

El aspecto c, referente al análisis de la integridad hidráulica, mecánica y eléctrica se reportan en los Anexos del 9 al 11. En la Tabla 9 se muestran solamente aquellos equipos en los que no se cumplió con la integridad adecuada.

**Tabla 9. Listado de equipos que no cumplen con en el análisis de integridad mecánico, eléctrico o hidráulico de la ETAPCM**

Equipo	Observación
Bomba sumergible	No se encuentra disponible para su análisis
Medidor de flujo electromagnético	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con el arreglo típico propuesto por el fabricante (son necesarias: válvulas de mariposa, válvula de admisión y

Continuación de la tabla en la siguiente

Continuación. **Tabla 9.** Listado de equipos que no cumplen con el análisis de integridad mecánico, eléctrico o hidráulico de la ETAPCM

Equipo	Observación
	expulsión de aire y diámetro de tubería). No cuenta con cableado para su operación
Bomba centrífuga	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarios: soportes de instalación y manómetros)
Tanque hidroneumático	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: válvulas de alivio). Se observa grieta en reducción bushing 4" x 3"
Filtros con micro "Z"	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros). Se observa grieta en reducción bushing 4" x 3"
Filtros con carbón activado	La instalación no es la sugerida por el proveedor, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros)
Suavizadores	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros)
Antiincrustantes	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (es necesario válvulas de alivio de vacío). Se observan grietas en tubo de 2".

El aspecto d, referente al manejo y disposición de productos químicos, se observó en el Anexo 12; que no hay registro de la cantidad ni identificación de los materiales utilizados en cada turno. No se cuenta con un área de disposición de residuos, tampoco se cuenta con un protocolo para el manejo de residuos sólidos (estopa, grasa y residuos de diésel). Para el caso de los residuos líquidos generados por el retrolavado y la regeneración de resina los residuos generados por el retrolavado y la regeneración de resina cuyos residuos son incorporados al servicio de drenaje.

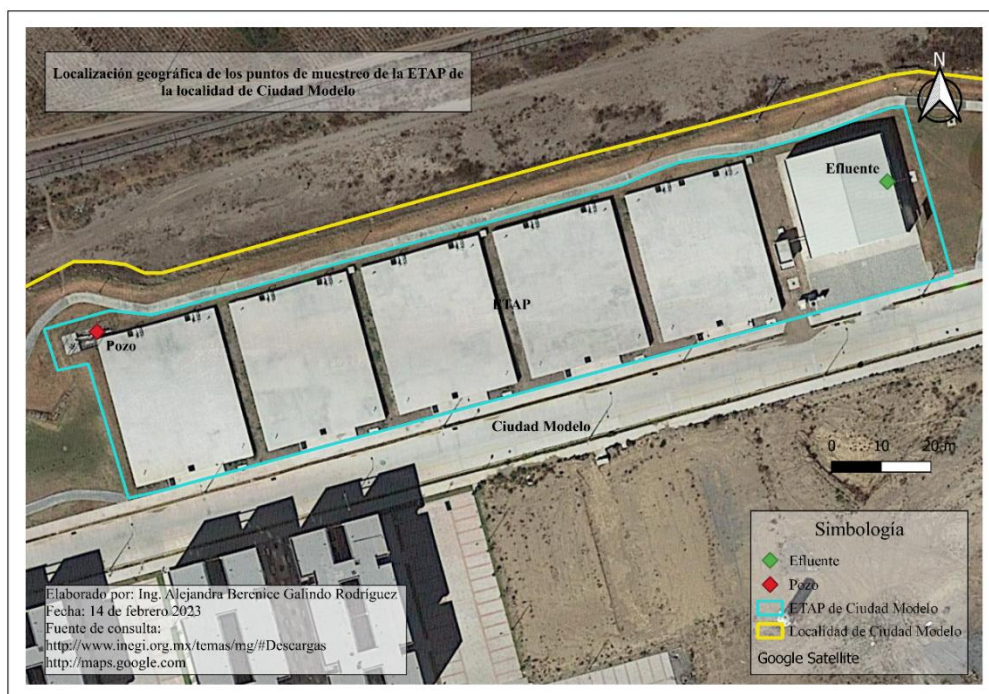
Por último, la valoración tecnológica de cada etapa de la ETAPCM, que consiste en la comparación de los datos técnicos de cada equipo declarado con el existente; se concluye que se cumple con cada uno de ellos. En el Anexo 13 se enlista la comparación a detalle de cada etapa y cada equipo de la planta.

### 3.2 Parámetros fisicoquímicos obtenidos de la ETAPCM

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de agua obtenidas en dos épocas distintas del año; en las etapas de entrada y salida de el tren de tratamiento de la ETAP de la localidad de Ciudad Modelo, comparándolas con lo establecido en la normativa mexicana (modificación de la NOM-127-SSA1-1994 y NOM-127-SSA1-2021).

#### Sitio de muestreo

En la Figura 8 se identifican los dos sitios de muestreo; los cuales corresponden a la instalación del pozo en la etapa de extracción de agua cruda y la tubería del efluente, que se encuentra al término de la etapa de desinfección, abasteciendo de agua a la localidad de Ciudad Modelo. En dichos sitios se recolectaron las muestras representativas de agua en temporadas de lluvia y de sequía, mediante lo establecido con la NOM-230-SSA1-2002, la cual establece los procedimientos sanitarios para el muestreo.



*Figura 8. Localización de los dos sitios de muestreo en la ETAPCM: pozo y efluente*

En las Tablas 10 y 11 se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos de la caracterización de las muestras de agua de la ETAPCM, las cuales se consiguieron mediante el empleo de un digestor DQO y un fotómetro multiparámetro HI 83099, marca Hanna Instruments, el cual emplea kits de reactivo para el análisis de diversos elementos de la calidad del agua, el análisis químico fotométrico se basa en las reacciones químicas específicas que hay entre un analito determinado contenido en la una muestra y un reactivo para producir un compuesto que absorbe la luz visible.

En la Tabla 12 se observan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la temporada de sequía, los cuales fueron comparados con los límites permisibles de la modificación a la NOM-127-SSA1-2021. Así mismo se determinaron otros parámetros que no se encuentran dentro de la norma, entre ellos: demanda química de oxígeno, calcio y magnesio. De acuerdo con lo establecido en la norma se observa que el parámetro de cloro residual libre no se encuentra dentro de los límites permisibles, ya que se detectó la ausencia de este, lo que puede atribuirse a problemas de capacitación sobre el dosificado del reactivo. Además, se observa para el caso del nitrógeno de nitratos, que el valor obtenido para el sitio de muestreo del pozo es de 18 mg/L, sobrepasando lo establecido por la NOM de 10 mg/L, sin embargo, este valor disminuye en el efluente de salida. Es importante señalar que parámetros como el color, presentan un aumento de 7.5 unidades en la escala de UC, mostrando un problema con remoción de color; que puede deberse a un inadecuado manejo de las etapas de tratamiento de potabilización. Mientras que el valor del parámetro de dureza del agua el valor se mantiene constante en 400 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , lo que indica que la etapa de suavizado de agua no se encuentra operando o el material responsable se encuentra saturado, lo que impide la disminución del valor.

**Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de sequía de la ETAPCM comparados con la modificación NOM-127-SSA1-1994**

Muestra	Época de sequía		Unidad	Modificación NOM-127-SSA1-1994
	Pozo	Efluente		
Fecha	13/02/2023	13/02/2023	-	-
Identificación del sitio	19°13'45.68"N, 97°47' 05.68"O	19°13'46.76"N, 97°47'00.04"N	-	-
Observación relativa	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	-	-
Temperatura	21	21	°C	-
pH	7.2	7.4	pH	6.5 a 8.5
Características físicas y organolépticas				
Color verdadero	9	16.5	UC	20
Características químicas				
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	400	400	mg/L	500
Nitrógeno de nitratos (N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	18	0	mg/L	10
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	7.5	7.5	mg/L	400
Hierro	0.05	0.04	mg/L	0.3
Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección				

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 10.** Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de sequía de la ETAPCM comparados con la modificación NOM-127-SSA1-1994

Muestra	Época de sequía		Unidad	Modificación NOM-127-SSA1-1994
	Pozo	Efluente		
Cloro residual libre	0.03	0.095	mg/L	0.2-1.5
Otros				
Níquel	0.1005	0.1645	mg/L	-
Demanda química de oxígeno	27.5	33	mg/L	-
Calcio	45	65	mg/L	-
Magnesio	147	150	mg/L	-

En la Tabla 11 se observan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la temporada de lluvia, los cuales fueron comparados con los parámetros permisibles de la NOM-127-SSA1-2021. Así mismo se determinaron otros parámetros de demanda química de oxígeno, calcio y magnesio. Se observa que la ETAP se encuentra operando dentro de los parámetros establecidos por la NOM-127-SSA1-2021. Sin embargo, es apreciable que el parámetro de color verdadero presenta un aumento en 7 unidades de UC, evidenciando un problema con las etapas de tratamiento. Para el caso del nitrógeno de nitratos y sulfatos, los valores se mantienen constantes dentro de los parámetros permisibles; indicando un área de oportunidad para la mejora de los procesos de la ETAP. Por último, se observa un decremento del parámetro de la dureza de 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, lo cual se debe al mantenimiento de la etapa de suavizado. Ya que se había realizado recientemente por parte del personal la actividad de regeneración de resina de los suavizadores.

**Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de lluvia de la ETAPCM comparados con la NOM-127-SSA1-2021**

Muestra	Época de lluvia		Unidad	NOM 127- SSA1- 2021
	Pozo	Efluente		
Fecha	11/07/2023	11/07/2023	-	-
Identificación del sitio	19°13'45.68"N, 97°47' 05.68"O	19°13'46.76"N, 97°47'00.04"N	-	-
Observación relativa	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	-	-
Temperatura	20	20	°C	-
Especificaciones sanitarias físicas				
pH	7.5	7.5	pH	6.5 a 8.5
Color verdadero	3	10	UC	15
Especificaciones sanitarias químicas				
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	450	250	mg/L	500
Nitrógeno de nitratos (N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	10.9	11	mg/L	11
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	5	5	mg/L	1000
Especificaciones sanitarias de metales y metaloides				
Hierro	0.044	0.063	mg/L	0.3
Níquel	0.051	0.063	mg/L	0.07
Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección				
Cloro residual libre	0.03	0.2	mg/L	0.2-1.5
Otros				
Demanda química de oxígeno	30	12	mg/L	-
Calcio	140	120	mg/L	-
Magnesio	40	45	mg/L	-

En la Tabla 12 se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la temporada de sequía, los cuales fueron comparados también con los parámetros permisibles de la NOM-127-SSA1-2021. Así mismo se determinaron otros parámetros como: demanda química de oxígeno, calcio y magnesio. De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que la ETAPCM se encuentra operando dentro de los parámetros establecidos por la NOM-127-SSA1-2021. Sin embargo, es apreciable que el parámetro de color verdadero presenta un aumento en 2 unidades de UC, evidenciando un problema con las etapas de tratamiento. Para el caso del nitrógeno de nitratos y sulfatos los valores se mantienen constantes, dentro de los parámetros permisibles; indicando un área de oportunidad para la mejora de los procesos de la ETAPCM. Para el parámetro de la dureza se observa un decremento de 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, lo cual se atribuye al mantenimiento de la etapa de suavizado. Por último, es importante señalar que dentro de las especificaciones sanitarias microbiológicas se obtuvo la ausencia de *E. coli*.

**Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en época de sequía de la ETAPCM comparados con la NOM-127-SSA1-2021**

Muestra	Época de sequía		Unidad	NOM 127-SSA1-2021
	Pozo	Efluente		
Fecha	22/01/2024	22/01/2024	-	-
Identificación del sitio	19°13'45.68"N, 97°47' 05.68"O	19°13'46.76"N, 97°47'00.04"N	-	-
Observación relativa	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	Color translúcido, sin presencia de olor o material suspendido a la vista	-	-
Temperatura	20	21	°C	-
Especificaciones sanitarias físicas				
pH	7.6	7.6	pH	6.5 a 8.5
Color verdadero	7	9	UC	15
Especificaciones sanitarias químicas				
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	400	300	mg/L	500

Continuación de la tabla en la siguiente página

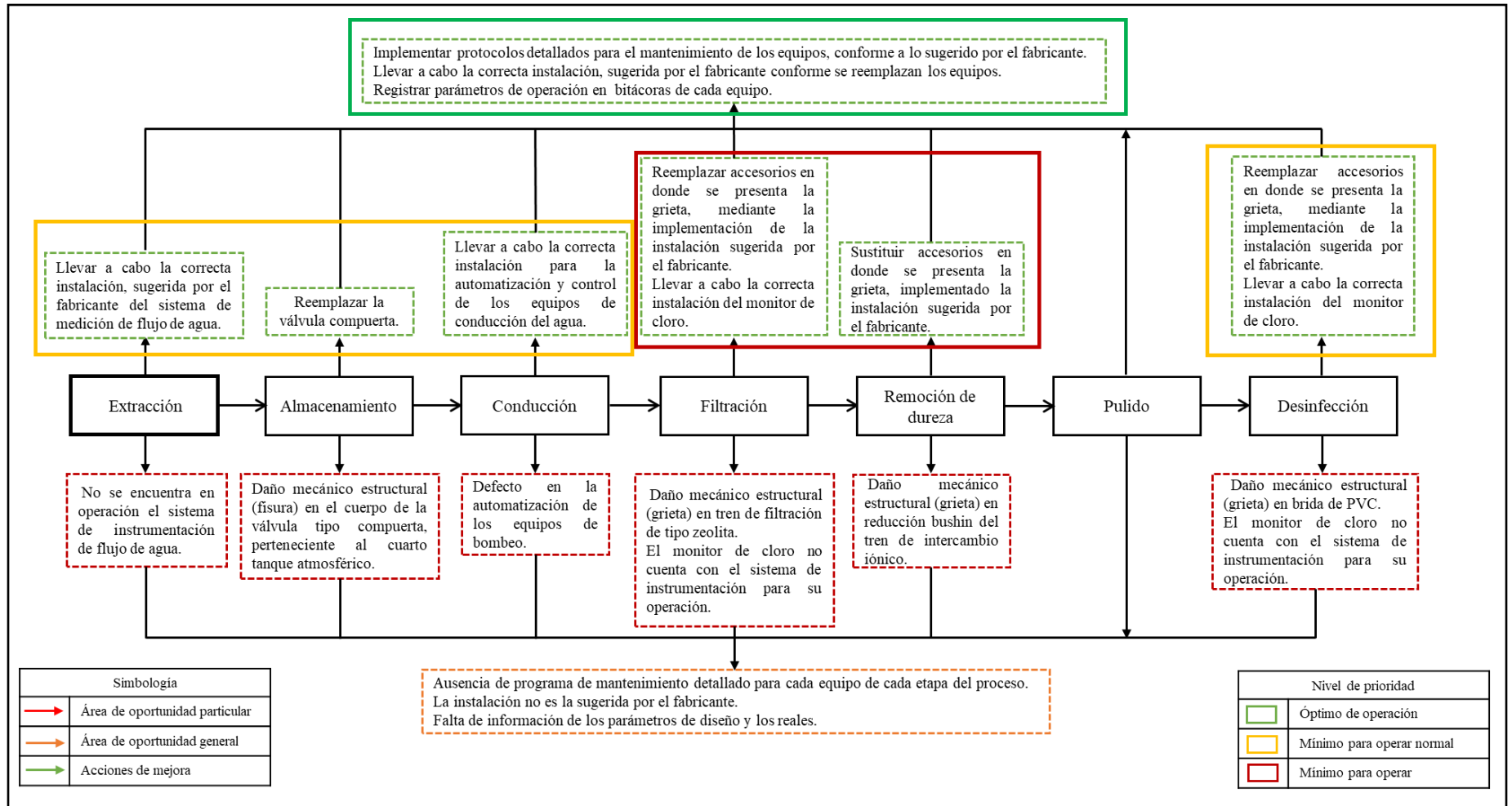
Continuación. **Tabla 12.** Parámetros fisicoquímicos obtenidos en épocas de lluvia de la ETAP comparados con la NOM-127-SSA1-2021

Muestra	Época de sequía		Unidad	NOM 127- SSA1- 2021
	Pozo	Efluente		
Fluoruros como F <sup>-a</sup>	0.47	0.56	mg/L	1.5
Nitrógeno de nitratos (N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	6.2	6.1	mg/L	11
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	5	5	mg/L	1000
Especificaciones sanitarias de metales y metaloides				
Hierro	0.0435	0.0315	mg/L	0.3
Níquel	0.0015	0.0025	mg/L	0.07
Especificaciones sanitarias microbiológicas				
<i>E. coli</i>	No detectable	No detectable	NMP/100 mL	< ó No detectable
Especificaciones sanitarias de residuales de la desinfección				
Cloro residual libre	0	0.8	mg/L	0.2-1.5
Otros				
Demanda química de oxígeno	29	23.5	mg/L	-
Calcio	85	125	mg/L	-
Magnesio	150	120	mg/L	-

### 3.3 Diseño de propuestas mediante el empleo de diagramas de proceso

En la Figura 9, se observa un diagrama de bloques actualizado del proceso de potabilización en el cual se distinguen cada una de las etapas de tratamiento. Con líneas discontinuas de color rojo se destacan las áreas de oportunidades específicas y de color naranja las áreas de oportunidades por área, mientras que las flechas de color verde indican las acciones de mejora para cada área.

Se presentan también los niveles de prioridad para cada propuesta o grupo de propuestas en; tres niveles: el primero es el mínimo para mejorar, representado por un rectángulo de color rojo, que cubre las áreas de oportunidad específicas en las etapas de filtración y remoción de dureza; ya que en ambas se presentan daños mecánicos estructurales (grietas), lo que representa un riesgo en el proceso de abastecimiento de agua potable. El segundo nivel se le denominó la operación normal, resaltado por rectángulos amarillo, los cuales se encuentran en las áreas de oportunidad específicas, correspondientes a las etapas de extracción, almacenamiento, conducción y desinfección; ya que en estas se observan: la falta de sistemas de instrumentación (flujómetro), el daño mecánico estructural de una válvula, el defecto en la automatización de los equipos de bombeo, así como el daño mecánico estructural en la etapa de desinfección y la falta de instrumentación en la etapa de desinfección (monitor de cloro residual). Por último, está el nivel óptimo de operación, representado por un rectángulo verde, que enmarca el área de oportunidad general de cada una de las etapas, representando las actividades necesarias de la ETAPCM para que dicha estación ejecute sus actividades de forma óptima y eficiente.



**Figura 9. Diagrama de bloques actualizado del proceso de potabilización de agua de la ETAPCM**

En la Figura 10, se muestra el diagrama de flujo de proceso (DFP) de la secuencia de puesta en marcha de la ETAPCM, en el cual se identifican cada una de las siete etapas de potabilización del agua por medio de un recuadro de color rojo y su correspondiente nomenclatura; de acuerdo con el orden de cada operación. Dicho diagrama permitirá mostrar las áreas de oportunidad de cada etapa mediante la propuesta de un diseño de un diagrama de flujo integral. En el ANEXO 15 se muestran los diagramas de flujo que incluyen las propuestas de mejora para cada etapa de tratamiento. Las propuestas se resumen en la Tabla 13.

**Tabla 13. Propuestas para la actualización técnica de la ETAPCM**

Etapa	Mejora
Extracción de agua potable A-100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas detallados con las posiciones y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos (ver Anexo 15, Figura 15-A15)</li> <li>• Pretratamiento de desinfección (cloro) inmediatamente después de que esta ingresa a la línea de tuberías mediante dos equipos dosificadores de hipoclorito de sodio (J-103 y J-104)</li> </ul>
Almacenamiento de agua cruda A-200 (tanques atmosféricos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un diagrama detallado con las posiciones y nombres de los accesorios e instrumentos con los cuales se cuenta (ver Anexo 15, Figura 16-A15)</li> <li>• Instalación de un punto de muestreo J-201</li> </ul>
Bombeo de agua cruda A-300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama detallado con la posición y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos con los cuales se encuentra (ver Anexo 15, Figura 17-A15)</li> </ul>

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 13.** Propuestas para la actualización técnica de la ETAPCM

Etapa	Mejora
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de indicadores de presión, válvulas antirretornos 100-HT-R-3001 - 100-HT-R-3003 y una válvula de compuerta 300-HT-G-3001</li> </ul>
Filtración de agua A-400	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama detallado con las posiciones y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos con los cuales se cuenta (ver Anexo 15, Figura 18-A15)</li> <li>• Instalación de válvula de bola para el seccionamiento de cada uno de los tanques filtrantes</li> <li>• Remoción de los filtros tipo “Y”</li> </ul>
Remoción de dureza de agua A-500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama detallado con las posiciones y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos con los cuales se cuenta (ver Anexo 15, Figura 19-A15)</li> <li>• Implementación de una válvula bypass 250-SS2-G-502 y válvulas para el seccionamiento de cada unidad filtrante 80-CPVP-B-5001 a 80-CPVP-B-5014</li> </ul>
Pulido A-600	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama detallado con las posiciones y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos con los cuales se cuenta (ver Anexo 15, Figura 20-A15)</li> <li>• Instalación de una llave de muestreo</li> </ul>

Continuación de la tabla en la siguiente página

Continuación. **Tabla 13.** Propuestas para la actualización técnica de la ETAPCM

Etapa	Mejora
Desinfección del agua A-700	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diagrama detallado con las posiciones y nombres de los accesorios, instrumentos y equipos con los cuales se cuenta (ver Anexo 15, Figura 21-A15)</li><li>• Actualización del material de tuberías</li></ul>

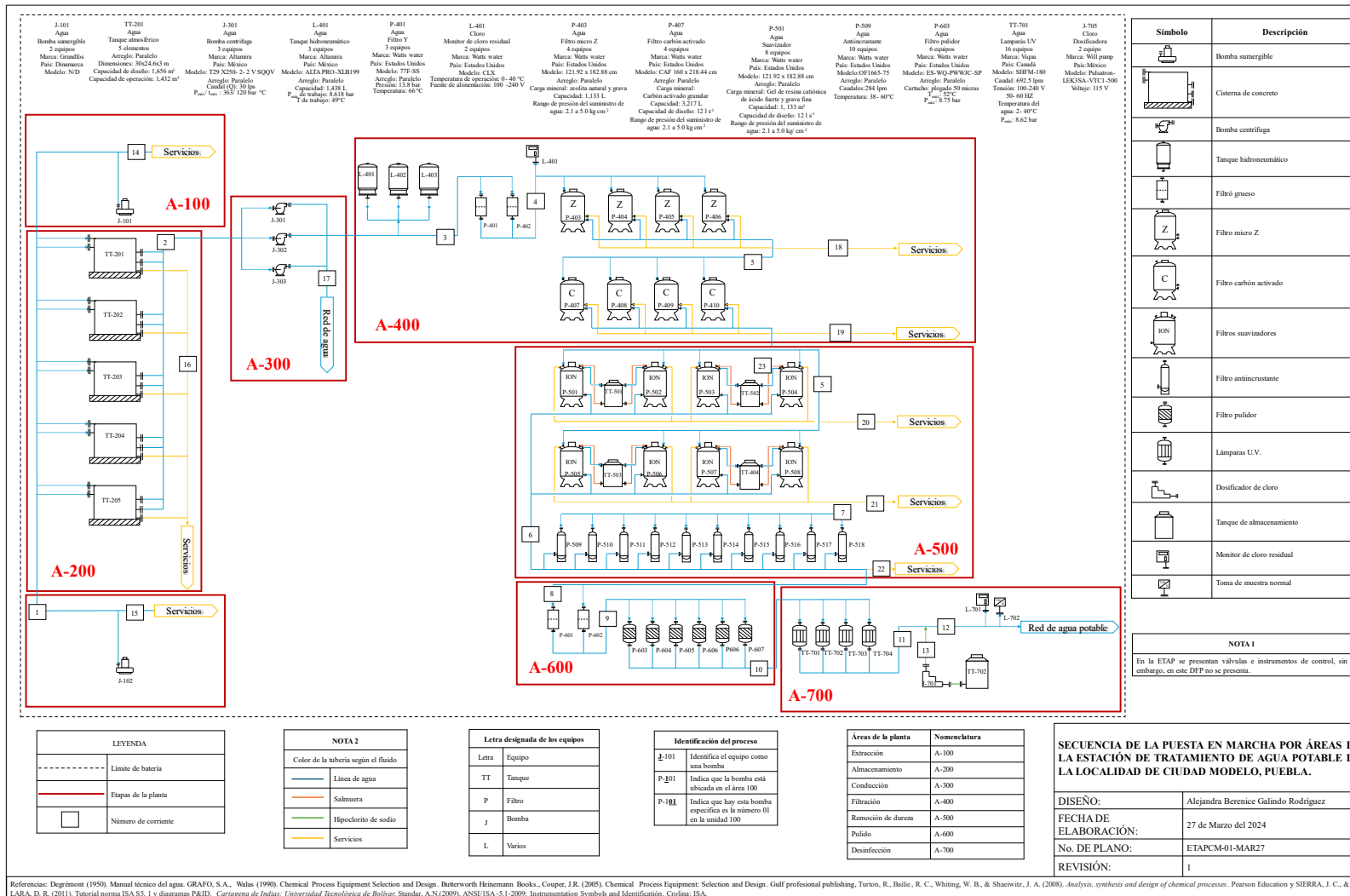


Figura 10. Secuencia de puesta de marcha por áreas de la ETAPCM

### 3.4 Evaluación de las áreas de impacto ambiental

Cuantificar el potencial de calentamiento global de la infraestructura hídrica existente es un paso importante para hacer realidad el compromiso de la industria de reducir su impacto ambiental sin afectar la calidad del servicio. Por lo anterior, se calculó de la huella ecológica corporativa para la EATPCM (Tabla 14).

Dentro de estas categorías destaca el consumo eléctrico que, de acuerdo con el recibo de consumo, ascendió a un total de 45 562 kWh en el año; equivalente a \$120 000.00 moneda nacional (M.N.) Usando el factor de conversión correspondiente,  $8.298 \times 10^{-4}$  kg de carbón/kWh, se determinó el consumo en toneladas por año (37.807 t/año). La intensidad energética en GJ/año se obtuvo multiplicando el consumo en kWh/año por el factor de conversión 0.0120 GJ/kW. En este caso, para la columna productividad energética se empleó el factor de conversión de 55 GJ /ha/ año. La huella “Energía Fósil”, se calculó dividiendo la intensidad energética (GJ/año) entre la productividad energética (GJ/ha-año), y multiplicando por el factor de equivalencia de 1.13868813. Es importante señalar que el procedimiento de cálculo, todas las constantes y los factores de equivalencia fueron establecidos conforme a Wackernagel *et al.* 1999 y a Doménech *et al.* 2009.

Las subcategorías de combustibles y materiales se determinaron de igual forma, de acuerdo con lo descrito anteriormente, en donde se emplearon las constantes de 43.75 GJ/kW para la intensidad energética y 71 GJ /ha/año para la productividad energética, respectivamente.

La huella por tipo de ecosistema para la categoría de uso de suelo fue asociada al “Terreno construido”, y se obtuvo multiplicando las hectáreas construidas de la ETAPCM por el factor de equivalencia 2.82187458.

**Tabla 14. Cálculo de la huella ecológica corporativa**

	Consumo anual					Productividad		Huella por tipo de ecosistema, en hectáreas			<b>HUELLA TOTAL</b> [ha·fe]
	En unidades de consumo al año	Costo económico [MNX\$/año]	En toneladas [t/año]	Intensidad energética [GJ/kWh]	Intensidad energética [GJ/año]	Natural [t·ha·año]	Energética [GJ/ha·año]	Energía fósil [ha·fe]	Bosque [ha·fe]	Terreno construido [ha·fe]	
<b>Categoría Energía</b>											
1.1 Electricidad											
*Térmica (carbón) [kWh]	45562	\$ 120 000.00	37.807	0.012	546.744	N/A	55	11.319	N/A	N/A	11.3194
Subtotal 1.1	N/A	\$ 120 000.00	37.807	N/A	546.744	N/A	N/A	11.319	N/A	N/A	11.319
Subtotal (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	58.974	N/A	N/A	58.974
1.2 Combustibles											
Diesel [MNX]	20	\$ 521.34	0.016	43.75	0.7	N/A	71	0.011	N/A	N/A	0.011
Subtotal 1.2	N/A	\$ 521.34	0.016	N/A	0.7	N/A	N/A	0.011	N/A	N/A	0.011
Subtotal (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.058	N/A	N/A	0.058
1.3 Materiales											
Sal de grano industrial (NaCl) [MNX]	256 costales de 50 Kg	\$ 173 440.00	12.8	43.75	560	N/A	71	8.981	N/A	N/A	8.981
Hipoclorito de sodio al 13% (NaCl) [MNX]	360	\$ 2 160.00	0.288	43.75	12.6	N/A	71	0.202	N/A	N/A	0.202
Subtotal 1.4	N/A	\$ 175 600.00	13.088	N/A	572.6	N/A	N/A	9.183	N/A	N/A	9.183
Subtotal (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	47.844	N/A	N/A	47.844
SUBTOTAL 1	N/A	\$ 296 121.34	50.911	N/A	1120.04	N/A	N/A	20.513	N/A	N/A	20.513
SUBTOTAL (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<b>106.877</b>	N/A	N/S	<b>106.877</b>
<b>Categoría Uso del suelo</b>											
Sobre tierra firme											

	Consumo anual					Productividad		Huella por tipo de ecosistema, en hectáreas			<b>HUELLA TOTAL</b> [ha·fe]
	En unidades de consumo al año	Costo económico [MNX\$/año]	En toneladas [t/año]	Intensidad energética [GJ/kWh]	Intensidad energética [GJ/año]	Natural [t·ha·año]	Energética [GJ/ha·año]	Energía fósil [ha·fe]	Bosque [ha·fe]	Terreno construido [ha·fe]	
Construido [ha]	0.438	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.238	1.238
SUBTOTAL 2	0.438	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.238	1.238
SUBTOTAL (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0
<b>Categoría Recursos forestales</b>											
Consumo de agua [m <sup>3</sup> ]	41034	\$ 90 000.00	41034	N/A	N/A	1270	N/A	N/A	36.791	N/A	36.791
SUBTOTAL 3	N/A	\$ 90 000.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	36.791	N/A	36.791
SUBTOTAL (CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<b>191.682</b>	N/A	<b>191.682</b>
TOTALES	N/A	<b>\$ 386 121.34</b>	<b>50.911</b>	N/A	<b>1 120.044</b>	N/A	N/A	<b>20.513</b>	<b>36.791</b>	<b>1.238</b>	<b>58.543</b>
Total (t CO <sub>2</sub> )	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	<b>298.560</b>

<b>Huella ecológica neta (ha)</b>	<b>58.543</b>
<b>Huella ecológica neta (t CO<sub>2</sub>)</b>	<b>298.560</b>

NOTA:

N/A: No aplica el cálculo

Los datos para la categoría “Recursos Forestales” fueron calculados con base a toneladas de agua extraídas anualmente (41 034 t). Para la huella total se dividió este valor entre la productividad natural (1270 t·ha/ año) por el factor de equivalencia 1.13868813.

Como puede verse, la categoría “Recursos Forestales” es la que presentó la mayor huella ecológica, con 36.79 ha·fe. La categoría de “Energía” produce una huella equivalente a 20.5 ha·fe por el uso de electricidad, materiales y combustible. En total, la huella ecológica de la ETAPCM suma, al considerar la huella de la categoría “Uso de Suelo” ;1.24 ha·fe.

De esta manera, la huella ecológica anual ascendió a 58.5 ha. En otras palabras, la ETAPCM gasta lo equivalente a 58.5 ha de tierra y agua productivas para mantenerse funcionando. Esta huella ecológica neta se puede transformar a huella ecológica en número de personas dividiendo por la huella global (2.2 ha/por persona/año), lo que resulta en 26.6 personas. Es decir, la ETAPCM está consumiendo 58.5 ha de más por año, recurso que pertenece 26.6 habitantes del planeta. En términos de gas de efecto invernadero, el total de CO<sub>2</sub> producido por la ETAPCM es de 305 t/año. Se observa que la categoría de “Recursos Forestales” es la que más contribuye, con 191.68 t CO<sub>2</sub> anualmente. El dato de 305 t/año puede ser recalculado para cada metro cúbico de agua potable producida, lo que resulta en un valor de 7.3 kg CO<sub>2</sub>, que, comparado con lo reportado en la literatura, es más de 10 veces el obtenido para plantas potabilizadoras de tamaño pequeño usando agua de pozo (Grupta, Lee, & Lui, 2024), Akash et al., 2024 documentaron un resultado 40 veces menor en la emisión de carbono (0.18 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> agua) de una planta potabilizadora mediana, con un proceso similar de producción, en Bangladesh (Akash, Chakraborty, & Das, 2024). Por otro lado, Griffiths *et al.* 2009 mencionan que el promedio energético mundial de extracción de agua de pozo es de 0.5 kWh/m<sup>3</sup>, la mitad de lo encontrado en este trabajo (1.1 kWh/m<sup>3</sup>) (Griffiths-Sattenspiel & Wilson, 2009).

Lo anterior puede ser debido a que a diversos factores como la baja producción de energía usando carbón ( $8.298 \times 10^{-4}$  kg de carbón/ kWh), o a características locales como profundidad del pozo, velocidad de extracción, características del agua (viscosidad, cantidad de minerales, etc).

En principio, los procesos, productos o servicios sustentables deberían tener una huella ecológica de cero; para ello, surgió el concepto de contrahuella. La contrahuella ecológica

se enfoca en acciones positivas que contribuyen a restaurar o mejorar el medio ambiente. Son medidas que buscan reducir nuestra demanda sobre los recursos naturales y aumentar la capacidad de regeneración del planeta. La contrahuella ecológica en una planta potabilizadora implica una serie de acciones proactivas que van más allá del cumplimiento normativo. Estas incluyen el tratamiento de lodos para su reutilización como abono, la generación de energía renovable para reducir la dependencia de combustibles fósiles, la optimización del consumo interno de agua, la restauración de ecosistemas locales afectados por la planta, la promoción de la educación ambiental en la comunidad y el uso de productos de limpieza biodegradables. Estas medidas no solo compensan el impacto ambiental de la planta, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y al bienestar de la comunidad. Si embargo, ninguna de estas actividades es implementadas en la ETAPCM, por lo que su huella ecológica es resultado neto de las actividades de la extracción y potabilización del agua.

### **3.5 Sistemas relacionados con el ETAPCM y actores claves**

#### Sistema complejo

El medio no es ajeno al desarrollo humano, por lo que se ve modificado en sus características físicas, químicas y biológicas. Dicho lo anterior, hoy en día es frecuente escuchar sobre situaciones como la contaminación de un cuerpo de agua causado por alguna actividad humana, el deterioro del medio físico y la modificación de las condiciones de vida. Un problema ambiental puede definirse como una alteración, contrariedad o perturbación sobre los sistemas naturales del planeta que impactan de forma negativa en la naturaleza, o genera un inconveniente en la normalidad.

Es necesario mencionar que dichos problemas ambientales se caracterizan por: ser persistentes, estar en continuo aumento, de difícil reversibilidad, responder a diversos factores (enlazando aspectos ecológicos, económicos, sociales, culturales, etc.), consecuencias más allá del espacio y tener soluciones complejas y múltiples (Gijón, 2003). Tales soluciones se identifican por la convergencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, denominada sistema complejo (García, Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo, 1986).

Dentro de las características de un sistema complejo, se encuentra la heterogeneidad de los elementos, la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que cumplen dichos elementos dentro del sistema (García, Interdisciplinariedad y sistemas complejos, 2011).

A continuación, se describe el sistema complejo en el que se desarrolla el presente trabajo, donde la Figura 11 expone la jerarquización de los sistemas implicados. El primer lugar se presenta el suprasistema, que se encuentra representado por una pirámide Kelsen revelando la importancia del agua para el humano, ya que desde tiempos remotos el suministro de una fuente de agua ha sido esencial para el desarrollo de todas las civilizaciones, en seguida se muestra el derecho humano al acceso del agua que se reflejado en el sexto objetivo de desarrollo sostenible (ODS). Es importante acentuar que el tratamiento adecuado de este líquido permite el aseguramiento de la calidad para emplearla en las actividades diarias y para su consumo.

En seguida se muestra el sistema de estudio que consiste en la infraestructura de la estación de tratamiento de agua potable (ETAP) de la localidad de Ciudad Modelo, San José Chiapa, Puebla. En el se pueden visualizar las condiciones de frontera y de contorno del sistema, destacando las características geográficas, políticas públicas, actividades económicas y el desarrollo urbano de la zona. En las condiciones de frontera destaca el área de abastecimiento, los metros cúbicos de agua que abastece la planta, el tiempo de vida de la infraestructura y el número de habitantes. Tanto las condiciones de frontera como las condiciones de contorno se encuentran interactuando con el sistema y el subsistema, por lo que es necesario tener lo presente para el abordaje del subsistema.

Así mismo, es importante distinguir los elementos de entrada donde el agua es la materia prima; la electricidad, el combustible y el trabajo del operador conforman la energía empleada; y los fundamentos legales internacionales y nacionales consisten en la información. Estos elementos de entrada interactúan con el sistema y subsistema, generando en la salida para el caso de materia, agua de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021. Para energía se observa la tecnificación de los procesos para prolongar la vida de la ETAP y la eficiencia; por último, para información se obtuvo experiencia, mejoras del proceso y retribución social.

Por último, se encuentra el subsistema que se compone de dos procesos, el primero consiste en las etapas de potabilización de la ETAP, observando cómo interactúa con las interconexiones y las condiciones de contorno que rodean el sistema; mientras que el segundo proceso reside en el presente trabajo “Evaluación ambiental y propuesta de actualización de la planta potabilizadora”, e l cual se relaciona directamente con las etapas del tratamiento y abastecimiento de agua a la población con los objetivos específicos del presente trabajo. El primer objetivo, es estimar el estado operativo y tecnológico actual de la ETAP por lo que se realizó una serie de visitas al sitio de estudio, permitiendo conocer si se ha realizado alguna modificación en las etapas de tratamiento diseñadas originalmente con respecto de las etapas que se encuentran actualmente en operación, lo cual se observa en la relación de los dos subsistemas. Así mismo, se obtuvieron dos muestras de agua en diferentes épocas del año y puntos del proceso, permitiendo determinar la calidad del agua conforme lo establecido en el segundo objetivo y que se aborda en el subsistema referente

a la fuente de extracción y acondicionamiento del agua que se abastece al polígono de Ciudad Modelo.

Los resultados obtenidos de la caracterización del agua se compararon de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, indicando si el agua previamente tratada por la ETAP cumple con los requerimientos de calidad y si el tratamiento actual se encuentra justificado de acuerdo con el apartado cinco de dicha norma (Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2022). La visita de campo también permitió identificar los factores asociados al funcionamiento de la potabilizadora y la aplicación de las encuestas permitieron el análisis de las dimensiones (ecológica, social, económica, técnica e institucional) y lo que implica el cumplimiento de los objetivos específicos cinco y seis.

Mediante el desarrollo de la ingeniería conceptual y básica, se identificaron acciones de mejora conforme a lo establecido en el objetivo tres, que finalizaron con el cálculo de la huella ecológica y la identificación de áreas de impacto ambiental. Lo anterior permitiría que se prolongue el tiempo de vida útil de la instalación y se mejore el servicio de abastecimiento de agua.

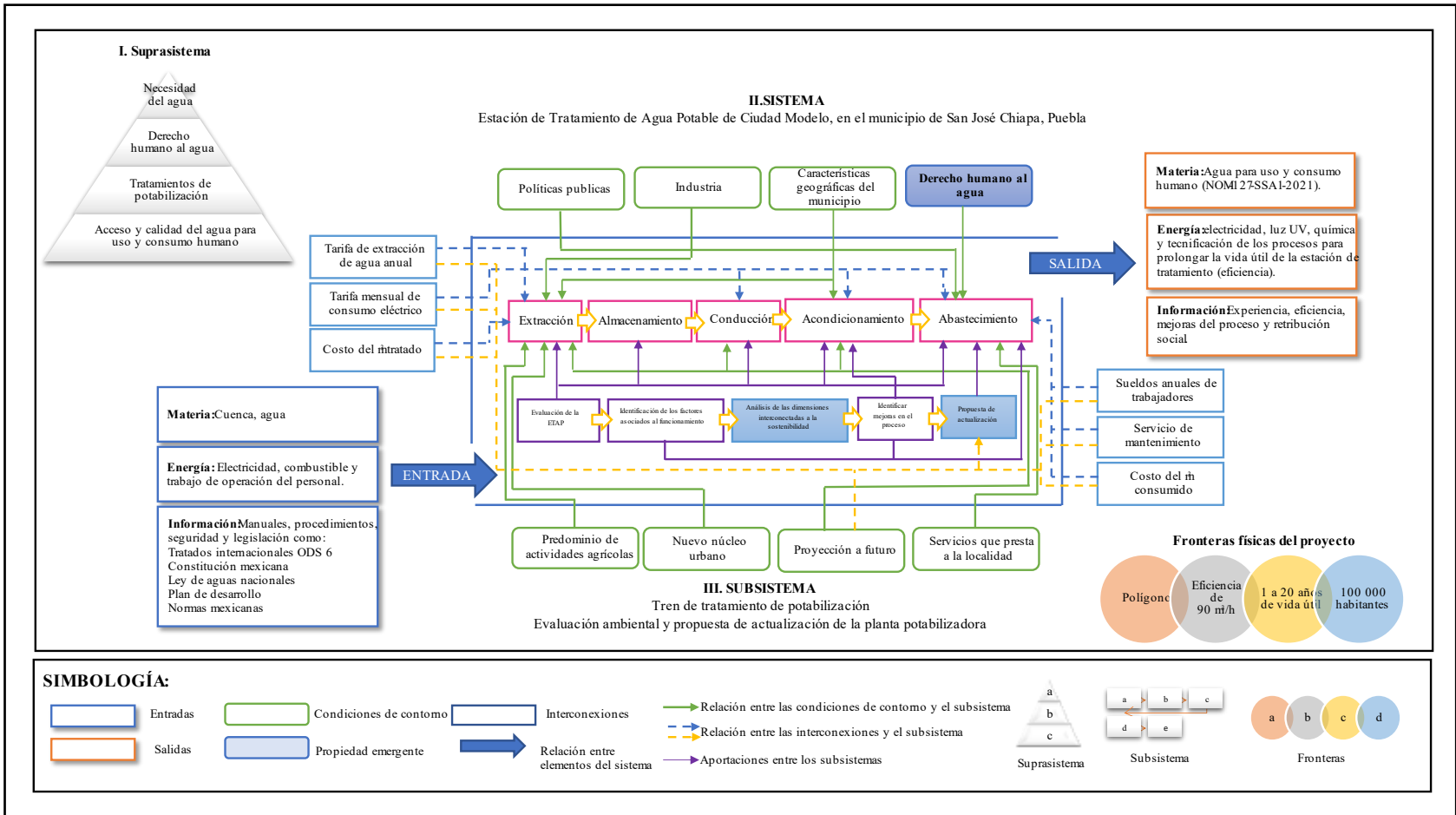


Figura 11. Sistema complejo de estudio

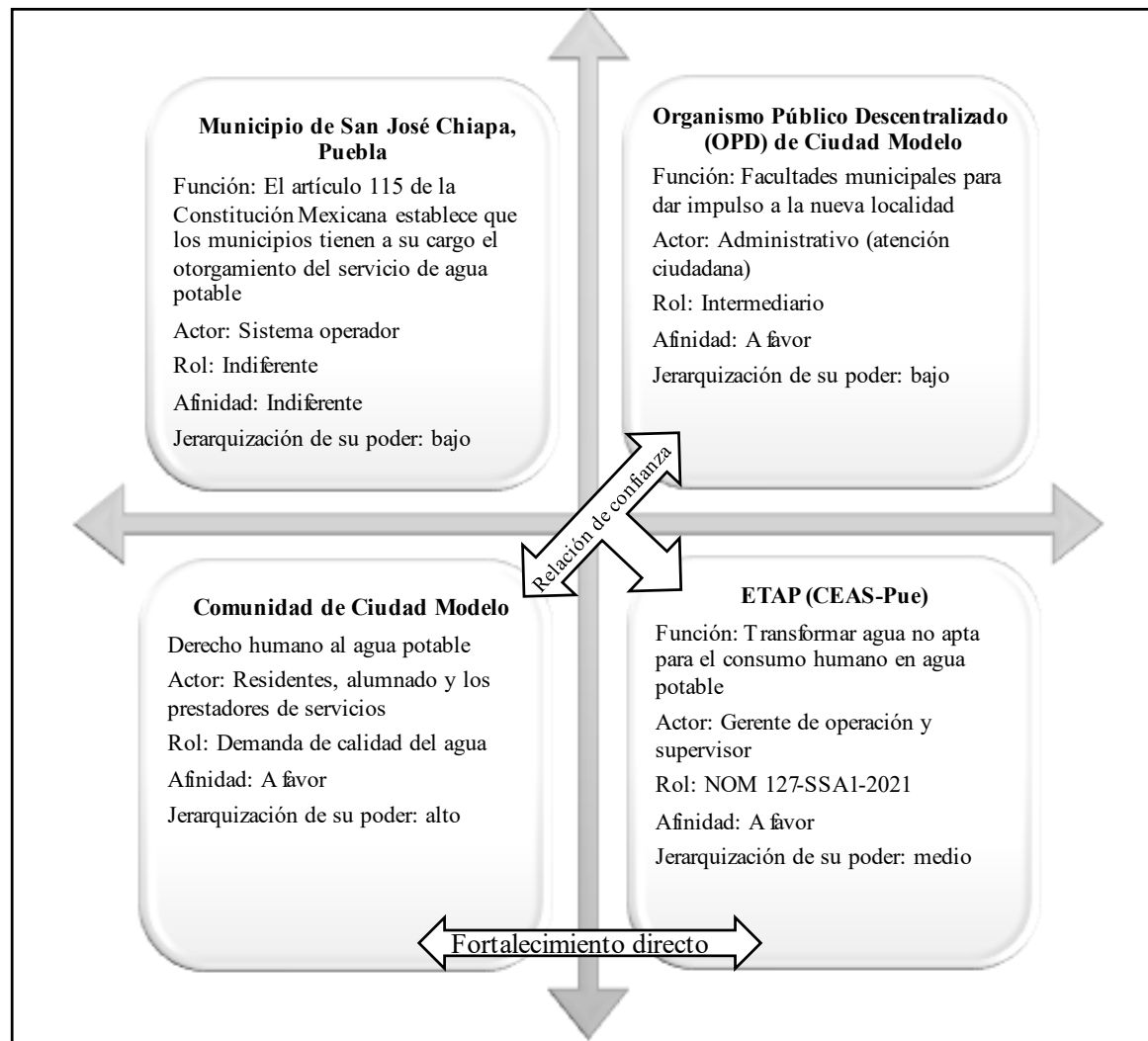
### ***Mapeo de actores clave***

El mapeo de actores claves (MAP), es un esquema que ayuda a representar la realidad social, su complejidad y permite diseñar estrategias de intervención para la resolución de un conflicto, mediante el entendimiento de los actores trascendentales. Su objetivo es conocer a los posibles actores, sus acciones, relaciones y percepciones en un tiempo determinado y en una zona. Es importante mencionar que un actor social, puede ser una persona, un grupo u organización, que presentan un interés en un proyecto (Tapella, 2007).

En la Figura 12, se muestra el mapeo de actores clave construido para el presente trabajo de investigación, titulado “Evaluación ambiental y propuesta de actualización de una planta potabilizadora, del estado de Puebla”. Distinguiendo en primer lugar a los diferentes grupos de actores sociales en el espacio, encontrando: en primer lugar, al municipio de San José Chiapa, el cual tiene la obligación de proveer el servicio de agua potable a sus pobladores y con ello es responsable de abastecer a las localidades que se encuentran dentro de este municipio. En segundo grupo es el Organismo Público Descentralizado (OPD), que desempeña facultades municipales con el propósito de impulsar a la localidad de Ciudad Modelo. El tercer grupo es la comunidad de Ciudad Modelo, quienes tienen derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y al acceso de agua para el consumo personal. El cuarto grupo es la ETAP que pertenece a la institución de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla (CEAS-Pue), cuya función de la ETAP es transformar agua no apta para el consumo humano en agua potable.

En seguida es importante destacar a los actores relevantes de cada grupo y el rol que desempeñan para este trabajo: para el primer grupo, el actor relevante es el sistema operador del municipio de San José Chiapa, cuyo rol es indiferente, debido a que no prestan el servicio de agua potable y alcantarillado en la localidad de Ciudad Modelo. Para el grupo referente al OPD, el actor relevante es el personal administrativo encargado de la atención ciudadana de la localidad, quienes fungen como mediador entre la comunidad y la ETAP en cuestiones de agua potable; por ende, tiene un rol de intermediario. Para el grupo de ETAP (CEAS-Pue), el actor clave es el gerente de operación y el supervisor de la planta, quienes se encargan de que la ETAP se encuentre operando adecuadamente para proveer agua de calidad conforme a lo establecido en la NOM-127-SSA1-2021 al polígono de la

localidad. Por último, se encuentra la comunidad, donde los actores sociales son los residentes, el alumnado del área escolar y los prestadores de servicios. Ejemplo de esto son los médicos y enfermeras a cargo de unidades médicas que se encuentran en la localidad, quienes no residen ahí, pero realizan sus actividades laborales. Este actor social demanda agua de calidad para desempeñar sus tareas. Cuando surge un cambio en el servicio de abastecimiento de agua potable, la comunidad solicita ayuda del OPD o se acerca directamente a las instalaciones de la ETAP, lo que evidencia una relación de confianza que se atribuye a que la localidad es un nuevo núcleo urbano en el cual se comienzan a generar relaciones sociales. Este trabajo de investigación encontró una relación directa entre la comunidad de Ciudad Modelo y la ETAP, debido a que la evaluación ambiental y propuesta de actualización de la potabilizadora solo puede ser demandada por la población y como estos se organicen. Por lo anterior, para el cuestionario y la encuesta el trabajo a continuación se enfocó a la población del núcleo de ciudad Modelo.



**Figura 12. Mapeo de actores clave de la localidad de Ciudad Modelo**

### **3.6 Determinación de las dimensiones interconectadas a la sostenibilidad**

En el Anexo 18, se presentan los diarios de campo realizados para la presente investigación en los cuales se describe y registran los hallazgos observados de la localidad de Ciudad Modelo, San José Chiapa, Puebla, los cuales permiten una mayor comprensión de los habitantes y como éstos interactúan con la ETAP.

En seguida se presenta el Anexo 19, que contiene los resultados correspondientes a cada una de las preguntas de la encuesta (Anexo 20). La muestra es mayoritariamente masculina, adulto joven (27-37 años), empleados, provenientes de la ciudad de Puebla con tiempos de residencia cortos en Ciudad Modelo (entre 2 y 3 años). El número total de encuestados fue de 60, distribuidos en género (57% hombres, 43% mujeres), edad (desde 18 hasta 57 años) y tiempos de residencia (de menos de un año a más de cinco años).

En cuanto a la relación de los pobladores con el empleo del agua y la percepción de ellos con el servicio de abastecimiento de agua potable de su localidad podemos resumir lo siguiente:

#### Perfil de los Habitantes

- Reciente llegada: Un porcentaje significativo de los habitantes ha llegado a Ciudad Modelo en los últimos 2-3 años, posiblemente atraídos por las condiciones de vivienda tras la pandemia.
- Hogares pequeños: Predominan los hogares conformados por pocas personas, lo que sugiere una población joven o parejas sin hijos.

#### Consumo y Percepción del Agua:

- Uso principal: El agua se utiliza principalmente para actividades domésticas e higiene personal.
- Desconocimiento: Existe un alto grado de desconocimiento sobre el proceso de potabilización, la frecuencia de suministro y la disposición final del agua.
- Confianza limitada: Los habitantes muestran cierta desconfianza en la calidad del agua del grifo, prefiriendo utilizar filtros o almacenar agua en cisternas.

- Consumo racional: A pesar de las dudas sobre la calidad del agua, los habitantes reportan un consumo racional y suficiente.

#### Infraestructura y Hábitos:

- Cisternas: La mayoría de los hogares cuenta con cisternas como sistema de almacenamiento de agua.
- Falta de infraestructura: Existe una carencia generalizada de infraestructura para la reducción del consumo de agua, como presurizadores o sistemas de doble descarga.
- Prácticas de higiene: Los habitantes reportan un buen nivel de higiene, sin presentar problemas estomacales relacionados con el consumo de agua.

#### Conocimiento sobre el Ciclo del Agua:

- Origen del agua: Existe un conocimiento limitado sobre el origen y tratamiento del agua potable, con una tendencia a asociarla a pozos y plantas potabilizadoras.
- Destino final: La mayoría de los encuestados desconoce el destino final del agua una vez utilizada.

Respecto al análisis de las dimensiones asociadas al desempeño de la ETAPCM la Tabla 15 muestra los resultados iniciales del análisis. Para facilitar la interpretación, se agruparon las categorías de desempeño originales ("Nada satisfecho y poco satisfecho", "Neutral", "Muy satisfecho y totalmente satisfecho") en tres nuevas: "Insuficiente" (agrupando las dos primeras), "Suficiente" (equivalente a "Neutral") y "Adecuado" (agrupando las dos últimas). Esta recategorización permite una visualización más clara del desempeño general.

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en cada una de las dimensiones evaluadas, basado en la escala de Likert empleada:

**Dimensión ecológica:** Los resultados reflejan una percepción mayoritariamente positiva (desempeño Adecuado) en cuanto a la calidad del agua suministrada (66.7% de los encuestados). Sin embargo, se observa una dispersión en las respuestas, lo que sugiere la existencia de diferentes percepciones entre los encuestados.

**Dimensión social:** En esta dimensión, se evidencia una alta valoración de la estética del proyecto (79.6%), así como una percepción a favor del servicio ofrecido (73.3%). La aceptación pública también muestra un nivel de satisfacción Adecuado (61%), aunque con una menor concentración en los extremos de la escala. En conjunto, los resultados indican un alto grado de aceptación social del proyecto evaluado.

**Dimensión económica:** La asequibilidad del servicio de agua parece ser un aspecto menos valorado por los encuestados, reflejando una percepción apenas positiva en cuanto al pago de servicio, con casi la mitad de la muestra sin disponibilidad a pagar más.

**Dimensión técnica:** Los resultados en esta dimensión muestran una evaluación adecuada de la calidad de construcción y mantenimiento con poco ruido generado, así como la emisión de olores o disposición de basura.

**Dimensión institucional:** La evaluación en esta dimensión revela una percepción relativamente baja en cuanto a la información proporcionada. Esto indica que existe una oportunidad de mejora en la comunicación y transparencia por parte de la entidad responsable del proyecto.

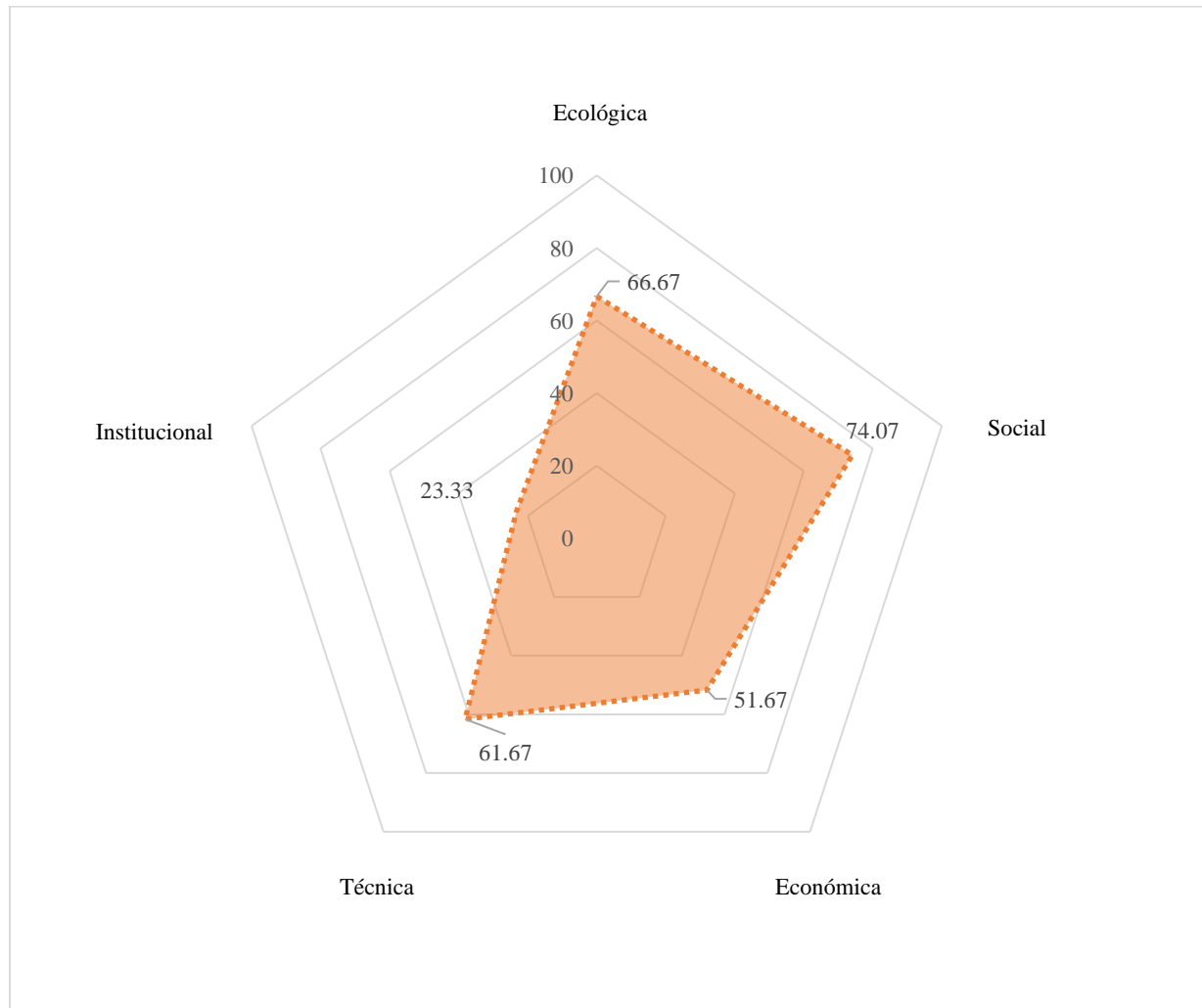
En términos generales, los resultados obtenidos indican un nivel de desempeño adecuado por parte de los encuestados en relación con el proyecto evaluado. Sin embargo, se identifican áreas específicas donde es necesario realizar mejoras, como la información proporcionada y la complejidad de construcción y operación.

**Tabla 15. Resultados obtenidos de la evaluación de las cinco dimensiones**

Dimensión	Indicador	Escala de Likert					Insuficiente	Suficiente	Adecuado
		1	2	3	4	5			
		Nada satisfecho	Poco satisfecho	Neutral	Muy satisfecho	Totalmente satisfecho			
Ecológica	Calidad del efluente	2	5	13	15	25	7 (11.6%)	13 (21.6%)	40 (66.6%)
Social	Aceptación pública	13	4	14	16	13	17 (28.3%)	14 (23.3%)	29 (48.3%)
		0	4	9	20	27	4 (6.6%)	9 (15%)	47 (78.3%)
		2	3	5	25	25	5 (8.3%)	5 (8.3%)	50 (83.3%)
		1	6	14	19	20	7 (11.6%)	14 (23.3%)	39 (65%)
	Estética	0	4	11	19	26	4 (6.6%)	11 (18.3%)	45 (75%)
		1	1	8	18	32	2 (3.3%)	8 (13.3%)	50 (83.3%)
		1	1	13	20	26	2 (3.3%)	13 (21.6%)	46 (76.6%)
		1	1	8	18	32	2 (3.3%)	8 (13.3%)	50 (83.3%)
	Percepción del servicio	4	2	10	22	22	6 (10%)	10 (16.6%)	44 (73.3%)
Económica	Asequibilidad	7	3	19	11	20	10 (16.6%)	19 (31.6%)	31 (51.6%)
Técnica	Complejidad de la construcción, operación y mantenimiento	1	2	20	15	22	3 (5%)	20 (33.3%)	37 (61.6%)
Institucional	Información	22	12	12	7	7	34 (56.6%)	12 (20%)	14 (23.3%)

La Figura 13, presenta gráficamente el desempeño ambiental determinado de la ETAPCM a través de un análisis multidimensional. Se graficó el valor de la categoría con mayor porcentaje de cada dimensión, y en el caso de la dimensión social se graficó el promedio de la categoría dado que constó de varios ítems. Como se concluyó anteriormente, los resultados obtenidos muestran un desempeño adecuado en los aspectos sociales y económicos, reflejando una gestión responsable y un compromiso con el desarrollo sostenible. Sin embargo, la dimensión institucional presenta un área de oportunidad, desde el punto de vista de los usuarios, lo que sugiere la necesidad de fortalecer los procesos internos y la gobernanza ambiental. Esta herramienta visual permite una rápida comprensión del perfil ambiental de la entidad y orienta hacia acciones de mejora en el corto y mediano plazo.

Para evaluar si existe una asociación entre las características sociodemográficas (sexo biológico, rango de edad y tiempo de residencia) y la percepción sobre el desempeño de la ETAPCM, se construyó una tabla de contingencia (Tabla 16). Esta tabla cruzó las respuestas sobre la percepción del desempeño de la planta Adecuado- (que incluye las calificaciones muy satisfecho y totalmente satisfecho) y No Adecuado (que incluye las calificaciones nada satisfecho, poco satisfecho y neutral-) con las variables sociodemográficas. Para determinar la significancia estadística de estas asociaciones, se realizó una prueba de chi-cuadrado utilizando el software Minitab 22. Se consideró un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . El análisis reveló una asociación estadísticamente significativa entre el Rango de edad y las dimensiones económica y técnica ( $p = 0.048$  y  $p = 0.037$ , respectivamente). Del mismo modo, se observó una asociación significativa entre el tiempo de residencia y las percepciones sobre las dimensiones ecológica e institucional ( $p = 0.047$  y  $p = 0.035$ , respectivamente). Estas asociaciones fueron estadísticamente significativas, aunque débiles según el parámetro de asociación de Cramer V-cuadrada, dado que todas fueron menores a 0.2.



**Figura 13. Evaluación de la sustentabilidad de la ETAPCM en cinco dimensiones**

**Tabla 16. Número de respuestas obtenidas con dictamen de desempeño adecuado (Si) y no adecuado (No) para las dimensiones ambientales de la ETAPCM**

		Ecológica			Social			Económica			Técnica			Institucional		
		SI	NO	TOTAL	SI	NO	TOTAL	SI	NO	TOTAL	SI	NO	TOTAL	SI	NO	TOTAL
SEXO BIOLÓGICO																
H		23	13	36	23	13	36	22	14	36	21	15	36	11	25	36
M		17	7	24	19	5	24	9	15	24	16	8	24	3	21	24
TOTAL		40	20	60	42	18	60	31	29	60	37	23	60	14	46	60
RANGO DE EDAD																
18-27.6	JOVENES	11	2	13	12	1	13	9	4	13	11	2	13	2	11	13
27.6-37.2	ADULTO JOVEN	14	12	26	17	9	26	10	16	26	11	15	26	6	20	26
37.2-46.8	ADULTO	11	2	13	10	3	13	9	4	13	10	3	13	4	9	13
46.8-56.4	ADULTO MEDIANO	4	2	6	4	2	6	1	5	6	3	3	6	1	5	6
56.4-66	ADULTO MAYOR	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	1	1	2
TOTAL		42	18	60	45	15	60	31	29	60	37	23	60	14	46	60
TIEMPO DE RESIDENCIA																
<1 año	NUEVO	9	0	9	7	2	9	6	3	9	6	3	9	6	3	9
1-2 años	RECIENTE	8	6	14	11	3	14	7	7	14	9	5	14	2	12	14
2-3 años	INTERMEDIO	10	6	16	11	5	16	7	9	16	8	8	16	3	13	16
3-4 años	CONSOLIDADO	6	2	8	5	3	8	5	3	8	5	3	8	3	5	8
> 5 años	ESTABLECIDO	7	6	13	9	4	13	6	7	13	9	4	13	3	10	13
TOTAL		40	20	60	43	17	60	31	29	60	37	23	60	17	43	60

Los estudios de percepción basados en encuestas pueden ser una herramienta útil para obtener información sobre las opiniones y actitudes de las personas. Sin embargo, es importante ser conscientes de sus limitaciones y complementar este tipo de estudios con otras fuentes de información, como entrevistas a expertos, y análisis de datos secundarios (Ortega Márquez & Márquez Fernández, 2017) (Prayoga, Nastiti, & Schindler, 2021) (Ochoo, Valcour, & Sarkar, 2017). Por ejemplo, aunque existe una estructura institucional con normas y procedimientos, los usuarios desconocen esta información, por lo cual su calificación ha sido evaluada como “Insuficiente”. La participación de expertos puede aportar información objetiva y contrastada que complementa la información obtenida a través de las encuestas.

# **CONCLUSIONES**

---

---

Con base en los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

1. Se concluye que el estado actual es el mínimo para operar; y que existen problemas técnicos importantes para atender a la brevedad para hacer más eficiente a la planta. La valoración del estado operativo y tecnológica permitieron detectar áreas de oportunidad en la señalización de las etapas, el diseño de diagramas de proceso, mantenimiento preventivo programado y funcional, memoria de cálculo y la falta de instrumentación de heurística y típicos que implica este tipo de proceso.
2. Los parámetros analizados (temperatura, pH, color verdadero, dureza total, nitrógeno de nitratos, sulfatos, hierro, níquel, cloro residual libre, DQO, calcio y magnesio) se encuentran dentro de lo establecido por la normatividad. Sin embargo, en lo que respecta al parámetro de color se observa un aumento en su concentración, lo que puede atribuirse a la presencia de material filtrante particulado procedente de la meteorización. Para el caso de la dureza, no se evidencia un cambio significativo en la disminución del  $\text{CaCO}_3$ , lo que puede atribuirse a la falta de implementación de buenas prácticas de operación y el registro del mantenimiento de cada unidad suavizadora para su control. Por último, para el caso del cloro residual libre se observa una discrepancia en los valores obtenidos, mostrando un área de oportunidad en la mejora del dosificado del hipoclorito de sodio.
3. Se generó la propuesta del empleo de tres niveles de prioridad para la mejora en el proceso. Donde el nivel óptimo de operación incluye todos los arreglos técnicos, instrumentación y sistemas de control que debería tener la ETAP para su operación eficiente. Mientras que el nivel de operación normal incluye equipos para la realización de actividades rutinarias. Por último, el nivel de mínimo de operación representa riesgos en el tratamiento y la calidad del agua potable, mismos que pueden generar un impacto económico y ecológico. Además, dentro de estas propuestas se desarrollaron diagramas de flujo de proceso integrales de cada etapa que conforman la operación de la ETAP.
4. Se calculó una huella ecológica anual de 58.5 hectáreas o 298 toneladas de  $\text{CO}_2$ / año, y se identificó que la etapa de extracción de agua, como aquella de mayor generación con 191.68 t  $\text{CO}_2$ / año; lo que indica que la ETAP se desempeña de manera insuficiente al requerir un “extra” de casi 60 hectáreas para mantener su funcionamiento.

5. Las visitas de campo permitieron determinar y caracterizar el sistema de estudio, por lo que de diseño un sistema complejo de la ETAPCM, exponiendo la jerarquización de los sistemas implicados que lo conforman y como estos se relacionan entre sí, como una totalidad. A su vez se identificaron los actores clave que intervienen con la ETAPC, por lo cual se generó un mapa de actores claves (MAC), permitiendo comprender las relaciones existentes del servicio de agua potable.
6. Los resultados obtenidos del estudio de percepción indican un nivel de desempeño de la ETAPCM adecuado, equivalente en este estudio a una aceptable satisfacción por parte de la población. Sin embargo, se identifican áreas específicas donde es necesario realizar mejoras, como la información proporcionada y la complejidad de construcción y operación. Se encontró en esta fase del estudio una asociación entre las características sociodemográficas y la percepción sobre el desempeño de la estación de tratamiento.

Este trabajo respalda la importancia de los estudios mixtos para evaluar el desempeño ambiental de las plantas potabilizadoras de agua. Al combinar métodos cuantitativos y cualitativos, se puede lograr una visión más amplia de los impactos ambientales de estas instalaciones. Permiten analizar no solo los datos numéricos sobre la calidad del agua, sino también las percepciones y opiniones de la comunidad, lo que enriquece la comprensión de los efectos sociales y ambientales a largo plazo. Además, los estudios mixtos facilitan la identificación de las mejores prácticas y la implementación de medidas de mitigación más efectivas, contribuyendo a una gestión ambiental más sostenible de las plantas potabilizadoras.

# **ANEXOS**

---

---

**Anexo 1. Ficha de datos generales, modificado de CONAGUA,2019**

Datos generales de la Estación de Tratamiento de Agua Potable	
Nombre de la ETAP	
Ubicación	
Coordenadas geográficas	
Localidad a la que abastece	
Tipo de planta potabilizadora	
Año en que entro en operación	
Año de construcción	
Capacidad de diseño	
Etapas	
Consumo eléctrico mensual	
Operación	
Capacidad de almacenamiento	
Número de operadores que laboran en la planta	
Entidad administrativa a la que pertenece la estación de tratamiento de agua Potable	
Fuente de suministro	
Conducción del agua	
Empresa que diseño la ETAP	
Rehabilitaciones recientes	
Cambios de diseño, unidades o proceso	
Información técnica de la planta	

Datos generales de la Estación de Tratamiento de Agua Potable	
Problemas frecuentes en la planta	
Historial de rehabilitaciones de la planta	
Programas de mantenimiento	
Recomendaciones para mejorar el proceso y funcionamiento de la planta potabilizadora	

**Anexo 2. Evaluación de planta paquete o de patente**

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se trata de un proceso automatizado?			
¿Se lleva control de calidad del influente y el efluente?			
¿Cuenta con medidor de presión?			
<b>Adsorción con carbón activado</b>			
Concepto			
¿Se conoce el volumen del carbón activado? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la altura del medio absorbente? ¿Cuál sería?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/ calidad de agua/ tiempo)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se comprueba la calidad del agua a la salida del carbón activado?			
<b>Carbón activado, criterios de diseño</b>			
¿Se conoce el número de unidades empacadas con carbón activado?			
¿Se conoce el área superficial del carbón activado?			

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce la densidad aparente del carbón activado? ¿Cuál es?			
¿Se conoce el espesor del lecho absorbente? ¿Cuál es?			
¿Se conoce el tiempo de contacto?			
<b>Laboratorio</b>			
¿Cuenta con laboratorio dentro de la planta potabilizadora?			
¿Se realizan pruebas de trazabilidad para el control del proceso? ¿En qué consisten?			
<b>Filtración con zeolita</b>			
¿Se conoce el número de unidades o filtros que se operan?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			

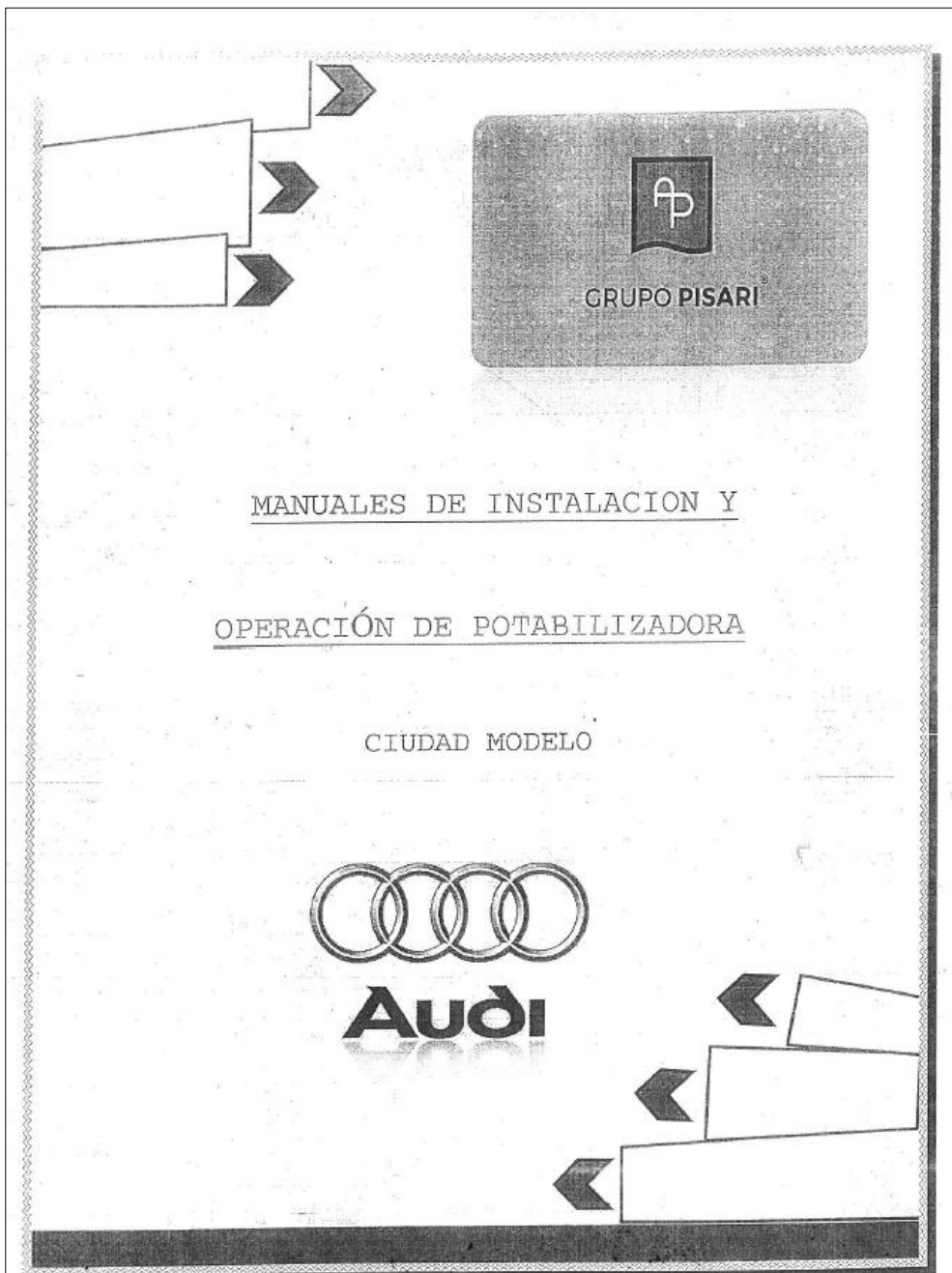
Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tiempo de retención adecuado en el filtro de zeolita? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el tamaño de grano de zeolita?			
¿Se conoce la tasa de filtración?			
¿Se conoce la tasa de retrolavado? ¿Cuál sería?			
<b>Intercambio iónico</b>			
¿Se conoce la conformación y el número de unidades del módulo de intercambio iónico? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el tipo de resina que se emplean? ¿Cuál sería?			
¿Se realiza la regeneración de las resinas? ¿Cada cuándo?			
¿Se emplea salmuera para la regeneración de las resinas?			
¿Se conoce como determinar la dosis y concentración adecuada de la salmuera?			
¿Se conoce la densidad que debe tener la salmuera?			
<b>Intercambio iónico, criterios de diseño</b>			

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce la capacidad operativa del intercambio operativa del intercambio iónico? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la tasa de flujo? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la tasa de regeneración con salmuera? ¿Cuál sería?			
<b>Cloración</b>			
¿Se conoce el tipo de desinfectante que se dosifica en el agua tratada?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Se conoce la concentración de mg/L de cloro que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de cloro?			

*Anexo 3. Manual de operación de la planta potabilizadora de Ciudad Modelo*



*Anexo 4. Manual de instalación y operación de potabilizadora*



Anexo 5. Plan de trabajo de ETAPCM

		FEBERO																																	
EQUIPO	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
BOMBAPozo NO.1																																			
BOMBAPozo NO.2																																			
CISTERNA A																																			
CISTERNA B																																			
CISTERNA C																																			
CISTERNA D																																			
CISTERNA E																																			
TABLERO ELECTRICO																																			
BOMBA DE AGUA A PROCESO NO.1																																			
BOMBA DE AGUA A PROCESO NO.2																																			
BOMBA DE AGUA A PROCESO NO.3																																			
HIDRONEUMATICO NO.1																																			
HIDRONEUMATICO NO.2																																			
HIDRONEUMATICO NO.3																																			
FILTRO "Y" NO.1																																			
FILTRO "Y" NO.2																																			
FILTRO "Y" NO.3																																			
FILTRO "Y" NO.4																																			
FILTRO MICRO "Z" NO.1																																			
FILTRO MICRO "Z" NO.2																																			
FILTRO MICRO "Z" NO.3																																			
FILTRO MICRO "Z" NO.4																																			
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO NO.1																																			
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO NO.2																																			
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO NO.3																																			
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO NO.4																																			
SUAVISADOR NO.1																																			
SUAVISADOR NO.2																																			

Página 1

## Anexo 6. Bitácora de ETAPCM



### POTABILIZADORA

- ❖ MONITOREO DE LOS NIVELES DE LAS CINCO CISTERNAS, PARA EL CONTROL, REGISTRO Y CUBICACIÓN DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LA PLANTA POTABILIZADORA.
- ❖ PURGA DE LA BOMBA NO. 1 DE 25 HP, DE ALIMENTACIÓN A LA POTABILIZADORA.
- ❖ MONITOREO DEL ESTADO DE LA LÍNEA DE FILTROS MICRO "Z", DE LA LÍNEA DE FILTROS "CARBÓN ACTIVADO"; REGISTRÓ DEL NÚMERO DE GALONES DE LA LÍNEA DE FILTROS "SUAVIZADORES". PARA EL MONITOREO DE SU ESTADO, CONTROL DE SU PRÓXIMO RETRO-LAVADO O REGENERACIÓN DE LA RESINA CATIÓNICA, DE ACUERDO A LO PROGRAMADO.
- ❖ SE REALIZARON ACTIVIDADES DE BOMBEO DE AGUA.



### POTABILIZADORA

- ❖ MONITOREO DE CLORO RESIDUAL, PH Y DUREZA; DEL AGUA TRATADA.
- ❖ LIMPIEZA DE LAS INSTALACIONES: OFICINAS, BAÑO, DEL ALMACÉN, CUARTO DE BOMBAS Y DE LA LÍNEA .
- ❖ INSPECCIÓN Y PURGA DE LA LÍNEA DE CLORO.
- ❖ PURGA DEL FILTRO "CARBÓN ACTIVADO".
- ❖ SE OBSERVÓ EL QUIEBRE DE LA MANGUERA QUE SE ENCUENTRA CONECTADO EN LA VÁLVULA FLOTADOR (VCFCEI), LA CUAL SE ENCARGA DE FRENAR EL PASO DEL AGUA A LA CISTERNA E.
- ❖ SUBMINISTRO DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DEL POZO 2 A LAS CISTERNAS.
- ❖ MONITOREÓ DEL ESTADO DE LOS CARTUCHOS PLISADOS, CORRESPONDIENTES A LA LÍNEA DE FILTRO PULIDORES.



**Anexo 7. Evaluación planta paquete o de patente**

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se trata de un proceso automatizado?	X		Fue diseñado como un proceso automatizado, sin embargo, no opera automáticamente
¿Se lleva control de calidad del influente y el efluente?		X	Parcialmente, ya que sólo se cuentan con kits para la determinación de cloro residual, pH y dureza
Etapa de filtración: Carbón activado			
¿Se conoce el volumen del carbón activado de las unidades filtrantes? ¿Cuál sería?		X	N/D
¿Se implementa el retrolavado como el resultado del criterio de caída de presión?		X	No, ya que no se cuenta con los instrumentos (manómetros) para conocer la caída de presión
¿Se cumple con el esquema de mantenimiento del retrolavado?	X		Cada 15 días de acuerdo con el manual del fabricante
¿Se comprueba la calidad del agua a la salida del filtro de carbón activado?		X	No se realiza
Carbón activado, criterios de diseño			
¿Se conoce el número de unidades empacadas con carbón activado?	X		Consta de 4 filtros

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el área superficial del carbón activado?		X	N/D
¿Se conoce la densidad aparente del carbón activado? ¿Cuál es?		X	N/D
¿Se conoce el tiempo de retención del carbón con el agua?		X	N/D
Área laboratorio			
¿Cuenta con laboratorio dentro de la planta potabilizadora?		X	Existe el sitio para el laboratorio, sin embargo, no se cuenta con equipo especializado para la realización de las pruebas
¿Se realizan pruebas de trazabilidad para el control del proceso?		X	Parcialmente, ya que sólo se cuentan con kits para la determinación de cloro residual, pH y dureza
Etapa de filtración: Zeolita			
¿Se conoce el volumen del carbón activado de las unidades filtrantes? ¿Cuál sería?		X	N/D
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros de zeolita?		X	No es posible determinar la carga ya que no se cuenta con el arreglo típico propuesto por el fabricante

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se implementa el retrolavado como el resultado del criterio de caída de presión?		X	No, ya que no se cuenta con los instrumentos (manómetros) para conocer la caída de presión
¿Se cumple con el esquema de mantenimiento del retrolavado?	X		Cada 15 días de acuerdo con el manual del fabricante
¿Se comprueba la calidad del agua a la salida del filtro de zeolita?		X	No se realiza
Criterios de diseño, Zeolita			
¿Se conoce el número de unidades empacadas con zeolita?	X		Consiste en 4 filtros
¿Se conoce el tamaño de grano de zeolita?	X		Tamaño de grano se encuentra entre 1.41 mm a 0.420 mm
¿Se conoce el tiempo de retención de la zeolita?		X	N/D
¿Se conoce la velocidad de retrolavado?		X	N/D
Etapa de suavizado: Intercambio iónico			
¿Se conoce el tipo de resina que se emplean? ¿Cuál sería?	X		Si, resina catiónica fuertemente
¿Se realiza la regeneración de las resinas? ¿Cada cuándo?	X		Si, se realiza automáticamente tras el paso de 40000 galones.
¿Se emplea salmuera para la regeneración de las resinas?	X		Si, se emplea una mezcla de agua con sal (NaCl)

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce como determinar la dosis y concentración adecuada de la salmuera?		X	N/D
¿Se conoce la densidad que debe tener la salmuera?		X	N/D
<b>Intercambio iónico, criterios de diseño</b>			
¿Se conoce la conformación y el número de unidades de la etapa de intercambio iónico?		X	Conformación en paralelo, que cuenta con 8 tanques de intercambio iónico.
¿Se conoce la tasa de regeneración de resina con salmuera?		X	N/D
¿Se conoce el tiempo de contacto de la resina y el agua?		X	N/D
<b>Etapas de desinfección: Cloración</b>			
¿Se conoce el tipo de desinfectante que se dosifica en el agua tratada?	X		Hipoclorito de sodio al 13%
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?	X		Si, una bomba dosificadora electrónica
¿Se conoce la concentración de mg/L de cloro que debe tener el efluente?	X		0.5 mg/L

**Anexo 8. Comparación de los parámetros de diseño contra los datos operativos reales**

Etapa	Equipos	Parámetros de diseño y operativos	Dato operativo real
Extracción	Bomba sumergible	Caudal: N/D Presión: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua	Caudal: N/D Presión: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua
	Medidor de flujo electromagnético	Rango de flujo: 25-500 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> Presión: 150 bar Fluido de temperatura: < 80°C Fluido: agua	Rango de flujo: N/D Presión: N/D Fluido de temperatura: N/D Fluido: agua
Almacenamiento	Tanques atmosféricos	Capacidad: 1 432 m <sup>3</sup> Temperatura: N/D Presión: N/D Fluido: agua	Capacidad: 1 432 m <sup>3</sup> Temperatura: N/D Presión: N/D Fluido: agua
Conducción	Bomba centrífuga	Frecuencia (f): 60 Hz Caudal (Q): 30 lps /108 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> Potencial nominal: 25 Hp P <sub>máx</sub> / t <sub>máx</sub> : 363/ 120 bar °C Fluido: agua	Frecuencia (f): N/D Caudal (Q): N/D Potencial nominal: N/D P <sub>máx</sub> / t <sub>máx</sub> : N/D Fluido: agua
Filtración	Tanque hidroneumático	P <sub>máx</sub> de trabajo: 8.618 bar T de trabajo: 49°C T <sub>amb</sub> máx: 52°C Capacidad: 1 438 L Fluido: agua	P <sub>máx</sub> de trabajo: N/D T de trabajo: N/D Capacidad: N/D Fluido: agua
	Filtros "Y"	P: 13.8 bar T <sub>amb</sub> : 66°C Fluido: agua	Presión máxima: N/D T <sub>amb</sub> : N/D Fluido: agua

Etapa	Equipos	Parámetros de diseño y operativos	Dato operativo real
	Monitor de cloro residual	Presión de entrada: 0.34 a 10.4 bar Temperatura: 0-40°C Fluido: agua	Presión de entrada: N/D Energía: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua
	Filtros micro "Z"	Tanque: 121.92 cm de diámetro x 182.88 cm de altura Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg cm <sup>2</sup> Temperatura: N/D Fluido: agua	Tanque: 121.92 cm de diámetro x 182.88 cm de altura Rango de presión del suministro de agua: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua
	Filtros con carbón activado	Tanque: 160.02 cm de diámetro x 218.44 cm de altura Capacidad de diseño: 12 ls Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg cm <sup>-2</sup> Temperatura: N/D Fluido: agua	Tanque: 160.02 cm de diámetro x 218.44 cm de altura Capacidad de diseño: N/D Rango de presión del suministro de agua: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua
Remoción de dureza	Suavizadores	Capacidad: 1.132 m <sup>3</sup> Tanque: 121.92 cm de diámetro x 182.88 cm de altura Capacidad del diseño: 12 Ls <sup>-1</sup> Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg cm <sup>-2</sup> Temperatura: N/D	Capacidad: 1.132 m <sup>3</sup> Tanque: 121.92 cm de diámetro x 182.88 cm de altura Capacidad del diseño: N/D Rango de presión del suministro de agua: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua / salmuera

Etapa	Equipos	Parámetros de diseño y operativos	Dato operativo real
		Fluido: agua /salmuera	
	Antiincrustantes	Caudales: 284 Lpm Presión: 1.3 a 6.9 bar Temperatura: 38- 60°C Fluido: agua /salmuera	Caudales: N/D Presión: 2.45166 bar Temperatura: N/D Fluido: agua
	Filtros "Y"	P: 13.8 bar T <sub>amb</sub> : 66°C Fluido: agua	Presión máxima: N/D T <sub>amb</sub> : N/D Fluido: agua
Pulido	Filtros pulidores	Velocidad de caudal: 681.91 lmin <sup>-1</sup> P <sub>máx</sub> : 8.75 bar T <sub>máx</sub> : 52°C Fluido: agua	Velocidad de caudal: N/D P <sub>máx</sub> : 2 bar Temperatura: N/D Fluido: agua
Desinfección	Lámparas UV	Caudal: 692.5 Lpm P <sub>máx</sub> : 8.62 bar Temperatura del agua: 2-40°C Fluido: agua	Caudal: N/D P <sub>máx</sub> : N/D Temperatura del agua: N/D Fluido: agua
	Bomba dosificadora de cloro	Rango de flujo: 23 Lpm Frecuencia de la red (f):50/60 Hz Temperatura: N/D Fluido: NaClO	Rango de flujo: N/D Frecuencia de la red (f): N/D Temperatura: N/D Fluido: NaClO
	Flujómetro	P <sub>trabajo</sub> : 16 bar T <sub>trabajo</sub> : 50°C Caudal nominal (Qn): 400 mh <sup>-1</sup> Fluido: agua	P <sub>trabajo</sub> : N/D T <sub>trabajo</sub> : N/D Caudal nominal (Qn): 90 mh <sup>-1</sup> Fluido: agua
	Monitor de cloro residual	Presión de entrada: 0.34 a 10.4 bar	Presión de entrada: N/D Temperatura: N/D Fluido: agua

Etapa	Equipos	Parámetros de diseño y operativos	Dato operativo real
		Temperatura de operación: 0- 40 °C Fluido: agua	

**Anexo 9. Análisis de la integridad hidráulica de cada etapa de la ETAPCM**

Etapa	Equipo	Análisis de la integridad hidráulico			Observación
		Fisura	Grieta	Fuga	
Extracción	Bomba sumergible				
	Medidor de flujo electromagnético				
Almacenamiento	Tanques atmosféricos	X			Se observa una fisura en una válvula compuerta del cuarto tanque atmosférico
Conducción	Bomba centrifuga				
Filtración	Tanque hidroneumático				
	Filtros "Y"				
	Monitor de cloro residual				
	Filtros con micro "Z"		X		Se observa grieta en reducción bushing 4"x3"
	Filtros con carbón activado		X		Se observa grieta en reducción bushing 4"x3"
Remoción de dureza	Suavizadores				
	Antiincrustantes		X		Se observa grieta en tubo de 2"
	Filtros "Y"				
Pulido	Filtros pulidores				
Desinfección	Lámparas UV				
	Bomba dosificadore de cloro				
	Flujómetro				
	Monitor de cloro residual				

**Anexo 10. Análisis de la integridad mecánico de cada etapa de la ETAPCM**

Etapa	Equipo	Análisis de la integridad: Mecánica		Observación
		Si cumple	No cumple	
Extracción	Bomba sumergible		X	No se encuentra disponible para su análisis
	Medidor de flujo electromagnético		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con el arreglo típico propuesto por el fabricante (son necesarias: válvulas de mariposa, válvula de admisión y expulsión de aire y diámetro de tubería)
Almacenamiento	Tanques atmosféricos	X		
Conducción	Bomba centrífuga		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarios: soportes de instalación y manómetros)
Filtración	Tanque hidroneumático		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son

Etapa	Equipo	Análisis de la integridad: Mecánica		Observación
		Si cumple	No cumple	
				necesarias: válvulas de alivio)
	Filtros "Y"	X		
	Monitor de cloro residual	X		
	Filtros con micro "Z"		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros)
	Filtros con carbón activado		X	La instalación no es la sugerida por el proveedor, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros)
Remoción de dureza	Suavizadores		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante, ya que no cuenta con los típicos del arreglo (son necesarias: derivaciones y manómetros)
	Antiincrustantes		X	La instalación no es la sugerida por el fabricante,

Etapa	Equipo	Análisis de la integridad: Mecánica		Observación
		Si cumple	No cumple	
				ya que no cuenta con los típicos del arreglo (es necesario válvulas de alivio de vacío)
	Filtros "Y"	X		
Pulido	Filtros pulidores	X		
Desinfección	Lámparas UV	X		
	Bomba dosificadore de cloro	X		
	Flujómetro	X		
	Monitor de cloro residual	X		

**Anexo 11. Análisis de la integridad eléctrico de cada etapa de la ETAPCM**

Etapa	Equipo	Análisis de la integridad: Eléctrico		Observación
		Si cumple	No cumple	
Extracción	Bomba sumergible		X	N/D
	Medidor de flujo electromagnético		X	No cuenta con cableado para su operación
Almacenamiento	Tanques atmosféricos			
Conducción	Bomba centrifuga	X		
Filtración	Tanque hidroneumático	X		
	Filtros "Y"			
	Monitor de cloro residual		X	No cuenta con cableado para su operación
	Filtros con micro "Z"	X		
	Filtros con carbón activado	X		
Remoción de dureza	Suavizadores	X		
	Antiincrustantes			
	Filtros "Y"			
Pulido	Filtros pulidores			
Desinfección	Lámparas UV	X		
	Bomba dosificadore de cloro	X		
	Flujómetro			
	Monitor de cloro residual		X	No cuenta con cableado para su operación

**Anexo 12. Manejo y disposición de productos químicos**

Concepto	Sí cumple	No cumple	Observación
¿Se registran la cantidad y nombre de los materiales utilizados en cada turno?		X	No se registra
¿Se cuenta con un área de almacenamiento?	X		Se cuenta con un almacén
¿Se cuenta con un área de disposición de residuos?		X	No, se cuenta con un área de disposición de residuos
¿Se lleva una bitácora de control sobre la disposición residuos?		X	No, se lleva bitácora sobre el manejo de residuos
¿Se cuenta con un protocolo para el manejo de residuos? ¿Qué tipo de residuos existen?		X	No se cuenta con un protocolo para el manejo de residuos, los residuos generados, son estopa, grasa, y residuos de diésel.  Para el caso de los residuos generados por el retrolavado y la regeneración de resina los residuos son incorporados al servicio de drenaje.

**Anexo 13. Valoración tecnológica de la ETAPCM**

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
Extracción	Bomba sumergible	Elementos: 2 equipos Marca: Grundfos Modelo: N/D País: Noruega Diámetro del impulsor: N/D Altura de salida: N/D Velocidad de rotación: N/D Potencia de salida: N/D Tasa de descarga volumétrica: N/D Vistosidad: N/D	X	
	Medidor de flujo electromagnético	Elementos: 2 equipos Marca: Adcom Modelo: ETG-ACO150MSP-CP-N-20 País: México Rango de flujo: 25-500 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> Presión nominal (PN): CL 150 bar Salida: 4- 20 mA Exactitud: ±0.5% Voltaje: 220 V	X	
Almacenamiento	Tanques atmosféricos	Instalaciones: 5 unidades Dimensiones: 30 x 24.6 x 3 m Capacidad de diseño: 1 656 m <sup>3</sup> Capacidad de operación: 1 432 m <sup>3</sup>	X	
Conducción	Bomba centrífuga	Elementos: 3 equipos Marca: Altamira Modelo: T29 X250- 2- 2 V SQV	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
		País: México Arreglo: Paralelo Frecuencia (f): 60 Hz Velocidad en RPM (n): 3450 min <sup>-1</sup> Capacidad em metros cúbicos por hora Caudal (Q): 30/ 108 Lps / m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> P <sub>máx</sub> / t <sub>máx</sub> : 363/ 120 bar °C Potencial nominal (P2): 25/18.5 Hp/kW Máxima carga en metros (H <sub>máx</sub> ): 69 m Carga en metros (H): 42.5 m		
Filtración	Tanque hidroneumático	Elementos: 3 equipos Marca: Altamira Modelo: ALTA PRO-XLB199 País: México Arreglo: Paralelo P <sub>máx</sub> de trabajo: 8.618 bar T <sub>trabajo</sub> : 49°C T <sub>amb máx</sub> : 52°C Capacidad: 1 438 L	X	
	Filtros "Y"	Elementos: 2 equipos Marca: Watts Water Modelo: 77F-SS País: Estados Unidos Arreglo: Paralelo Tamaño: 250 mm Cuerpo: Acero inoxidable 304 Bridas: Cinc-plateado, ASTM A-36 acero al carbono	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
		Presión: 13.8 bar Temperatura: 66°C		
	Monitor de cloro residual	Elementos: 1 equipo Marca: Watts Water Modelo: CLX Analizador de cloro residual en línea País: Estados Unidos Presión del agua: Regular la presión de 0.34 a 10.4 bar Temperatura de operación: 0- 40 °C Fuente de alimentación: 100 -240 V Reactivos: Kit de reactivos para el CLX (Cloro libre y cloro total)	X	
	Filtros micro "Z"	Elementos: 4 equipos Marca: WATTS WATER Modelo: 121.92 x 182.88 cm País: Estados Unidos Arreglo: Paralelo Capacidad: 1 133 L Componentes: un tanque de fibra de vidrio, un controlador automático, un difusor ranurado, un restrictor de flujo de retro-lavada y carga mineral Instalación eléctrica: 120 V / 60 ciclos/ 1 fase Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg cm <sup>-2</sup> Medio filtrante: Zeolita natural y grava fina	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
		Flujo de servicio: 54.55-72.73 Lmin <sup>-1</sup>		
	Filtros con carbón activado	<p>Elementos: 4 equipos</p> <p>Marca: Watts Water</p> <p>Modelo: CAF 160 x 218.44 cm</p> <p>País: Estados Unidos</p> <p>Capacidad: 3217 L</p> <p>Capacidad del diseño: 12 Ls<sup>-1</sup></p> <p>Componentes: un tanque de fibra de vidrio, un controlador automático, un difusor ranurado, un restrictor de flujo de retro-lavada y carga mineral</p> <p>Instalación eléctrica: 120 V / 60 ciclos/ 1 fase</p> <p>Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg cm<sup>-2</sup></p> <p>Medio filtrante: Carbón activado granular.</p>	X	
Remoción de dureza	Suavizadores	<p>Elementos: 8 equipos</p> <p>Marca: Watts Water</p> <p>Modelo: 121.92 x 182.88 cm</p> <p>País: Estados Unidos</p> <p>Arreglo: Paralelo</p> <p>Capacidad: 1 133 m<sup>3</sup></p> <p>Capacidad del diseño: 12 Ls<sup>-1</sup></p> <p>Componentes: un tanque de fibra de vidrio, tanque de salmuera, válvula de succión de salmuera con flotador, control fleck, restrictor de flujo de retro-lavada, carga</p>	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
		mineral y un sensor de flujo de rueda de paleta Toma de corriente: 2 contactos polarizados de 127 V /60 ciclos / 1 fase Rango de presión del suministro de agua: 2.1 a 5.0 kg/ cm <sup>2</sup> Medio filtrante: Gel de resina catiónica de ácido fuerte y grava fina Reactivo: Salmuera		
	Antiincrustantes	Elementos: 10 equipos Marca: Watts Water Modelo: OF1665-75 País: Estados Unidos Caudales: 284 lpm Temperatura: 38- 60°C Conexión de entrada/salida: 50 mm Tiempo de vida útil: 3 años Requisitos de composición química de suministro: pH: 6.5 – 8.5 Dureza (máxima): 513 ppm CaCO <sub>3</sub> ) Presión del agua: 1.3 a 6.9 bar Temperatura: 5- 38°C Hierro (máximo): 0.3 ppm Manganeso (máximo): 0.05 ppm Cobre (máximo): 1.3 ppm	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
	Filtros "Y"	Elementos: 2 equipos Marca: Watts Water Modelo: 77F-SS País: Estados Unidos Arreglo: Paralelo Tamaño: 250 mm Cuerpo: Acero inoxidable 304 Bridas: Cinc-plateado, ASTM A-36 acero al carbono Presión: 13.8 bar Temperatura: 66°C	X	
Pulido	Filtros pulidores	Elementos: 6 equipos Marca: Watts Water Modelo: ES-WQ-PWWJC-SP Tipo de cartucho: Plegado de 50 micras (PWWJCP50) Velocidad de caudal: 681.91 Lmin <sup>-1</sup> Especificaciones de la carcasa T <sub>máx</sub> : 52°C P <sub>máx</sub> : 8.75 bar	X	
Desinfección	Lámparas UV	Elementos: 16 equipos Marca: VIQUA Modelo: SHFM-180 País: Canadá Rango de dosis: 30 mJcm <sup>-2</sup> Caudal: 692.5 Lpm Tensión: 100-240 V / 50- 60 HZ Consumo de energía: 440 W	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
		Vatios de la lámpara: 380 W $P_{\text{máx}}$ : 8.62 bar Temperatura del agua: 2- 40°C Requisitos químicos del agua: Dureza: 120 mgL <sup>-1</sup> Hierro:0.3 mgL <sup>-1</sup>		
	Bomba dosificadore de cloro	Elementos: 1 equipo Marca: WILL PUMP Modelo: Pulsatron- LEK3SA-VTC1-500 País: México Voltaje: 115 V Rango de flujo: 23 Lpm Fuente de alimentación: 60 A Fase: 1 Frecuencia de la red (f):50/60 Hz	X	
	Flujómetro	Elementos: 1 equipo Marca: BERMAD Modelo: WPH-K- 10- 16- M3- PB-S2 País: México $P_{\text{trabajo}}$ : 16 bar $T_{\text{trabajo}}$ : 50°C Caudal nominal ( $Q_n$ ): 400 mh <sup>-1</sup> Caudal máximo continuo ( $Q_p$ ): 600 mh <sup>-1</sup> Caudad máximo: 800 mh <sup>-1</sup> Voltaje de conexión: 48 VAC/ DC Corriente de conexión: 0.2 A max Consumo en conexión: 4 W max	X	

Etapas	Equipos	Parámetros de diseño	Si cumple	No cumple
	Monitor de cloro residual	<p>Elementos: 1 equipo</p> <p>Marca: Watts Water</p> <p>Modelo: CLX Analizador de cloro residual en línea</p> <p>País: Estados Unidos</p> <p>Presión del agua: Intervalo de medición: 0-10 mgL<sup>-1</sup> (ppm)</p> <p>Presión del agua: Regular la presión de 0.34 a 10.4 bar</p> <p>Temperatura de operación: 0- 40 °C</p> <p>Precisión: ± 10% de la lectura de 6.01-10.00 mgL<sup>-1</sup> (ppm)</p> <p>Fuente de alimentación: 100 -240 V CA, 47-63 Hz, 150 VA</p> <p>Condiciones ambientales: No es recomendable emplearse en el exterior</p> <p>Reactivos: Kit de reactivos para el CLX (Cloro libre y cloro total)</p>	X	

#### **Anexo 14. Principio de operación del medidor de DQO y fotómetro multiparámetro**

El fotómetro es un instrumento que mide la absorbancia, dicho instrumento está equipado con un filtro para seleccionar la longitud de onda y un detector de fotones (*Skoog, West, Holler, & Crouch, 1996*). La fotometría es la medición de la luz absorbida en la región UV/visible y en infrarrojo cercano, empleado en el análisis cuantitativo para determinar las cantidades de compuestos en disoluciones. En la fotometría se emplea la ley de Beer-Lambert para el cálculo de los coeficientes obtenidos de la medición de la transmitancia.

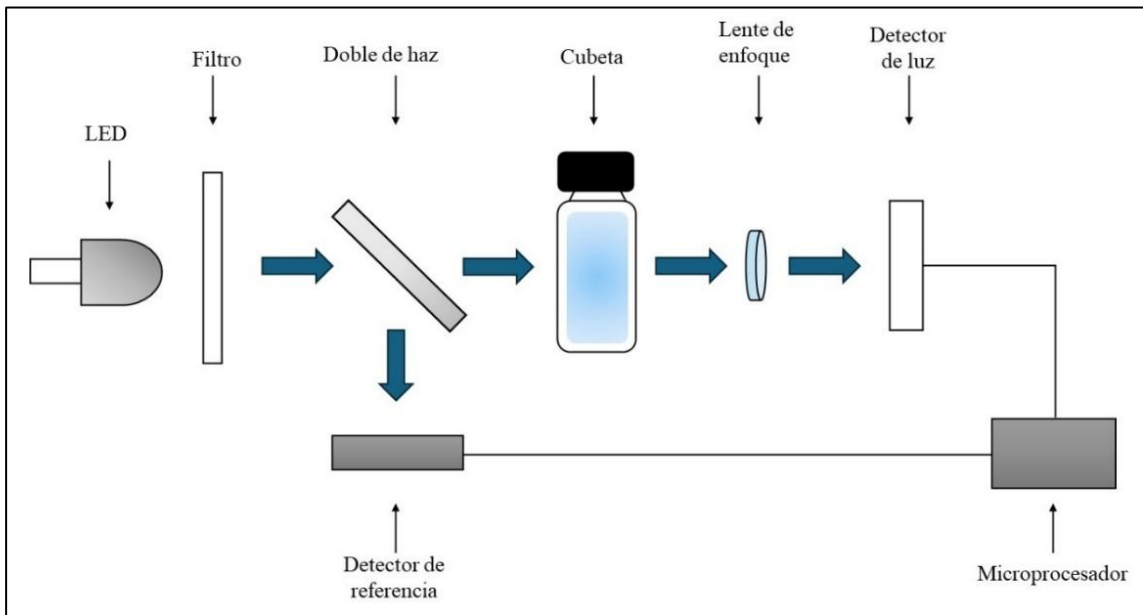
$$-\log I/I_0 = \epsilon_{\lambda}cd \quad \text{Ecuación 1}$$

$$A = \epsilon_{\lambda}cd \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

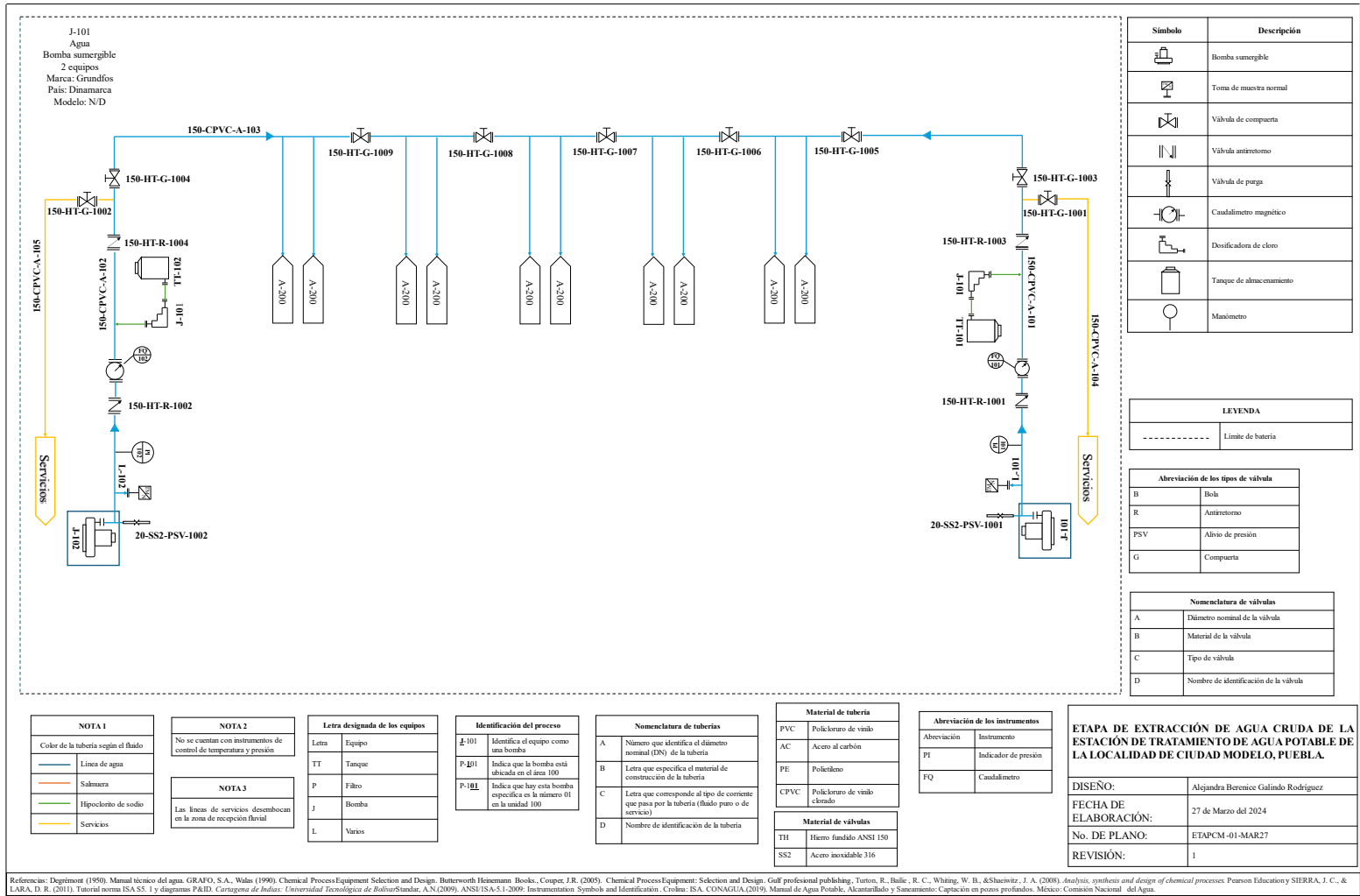
$I_0$	Intensidad del haz de luz incidente
$I$	Intensidad del haz de luz después de la absorción
$\epsilon_{\lambda}$	Coefficiente de extinción molar en la longitud de onda $\lambda$
$c$	Concentración molar de la sustancia
$d$	Trayectoria óptima que atraviesa la sustancia

En la Figura 14-A14 se presenta el esquema del fotómetro multiparámetro HI 83099 empleado para este trabajo, donde se observa una fuente de luz led, la cual proporciona una mayor eficiencia luminosa, la cual incide en el filtro permitiendo recibir una señal estable. Posteriormente un lente de enfoque acumula la luz que sale de la cubeta, eliminando interferencias (HANNA instruments).



*Figura 14-A14. Sistema óptico del equipo*

## Anexo 15. Diagramas integrales de ETAPCM



**Figura 15-A15. Etapa de extracción de agua cruda de la ETAPCM**

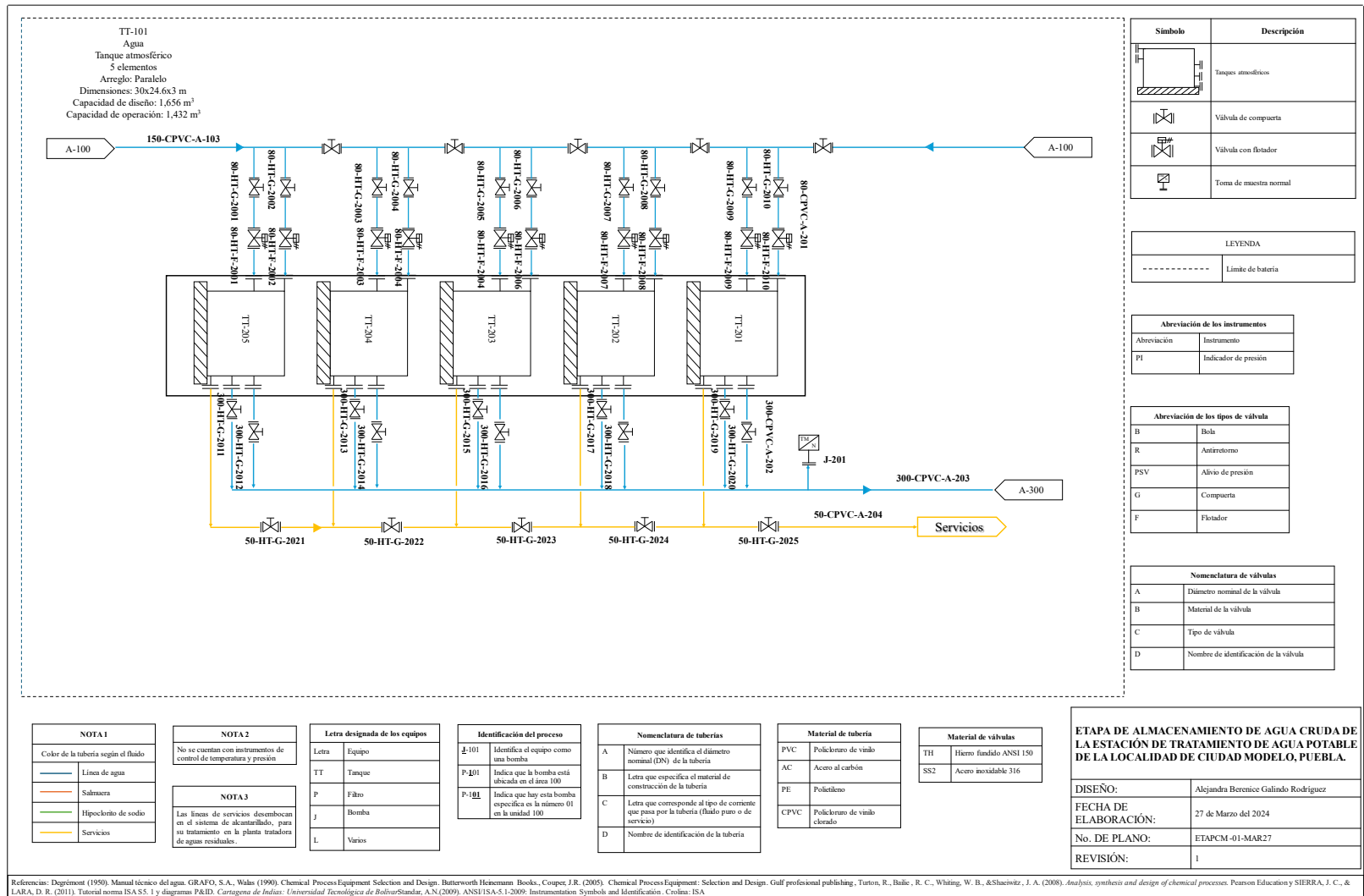
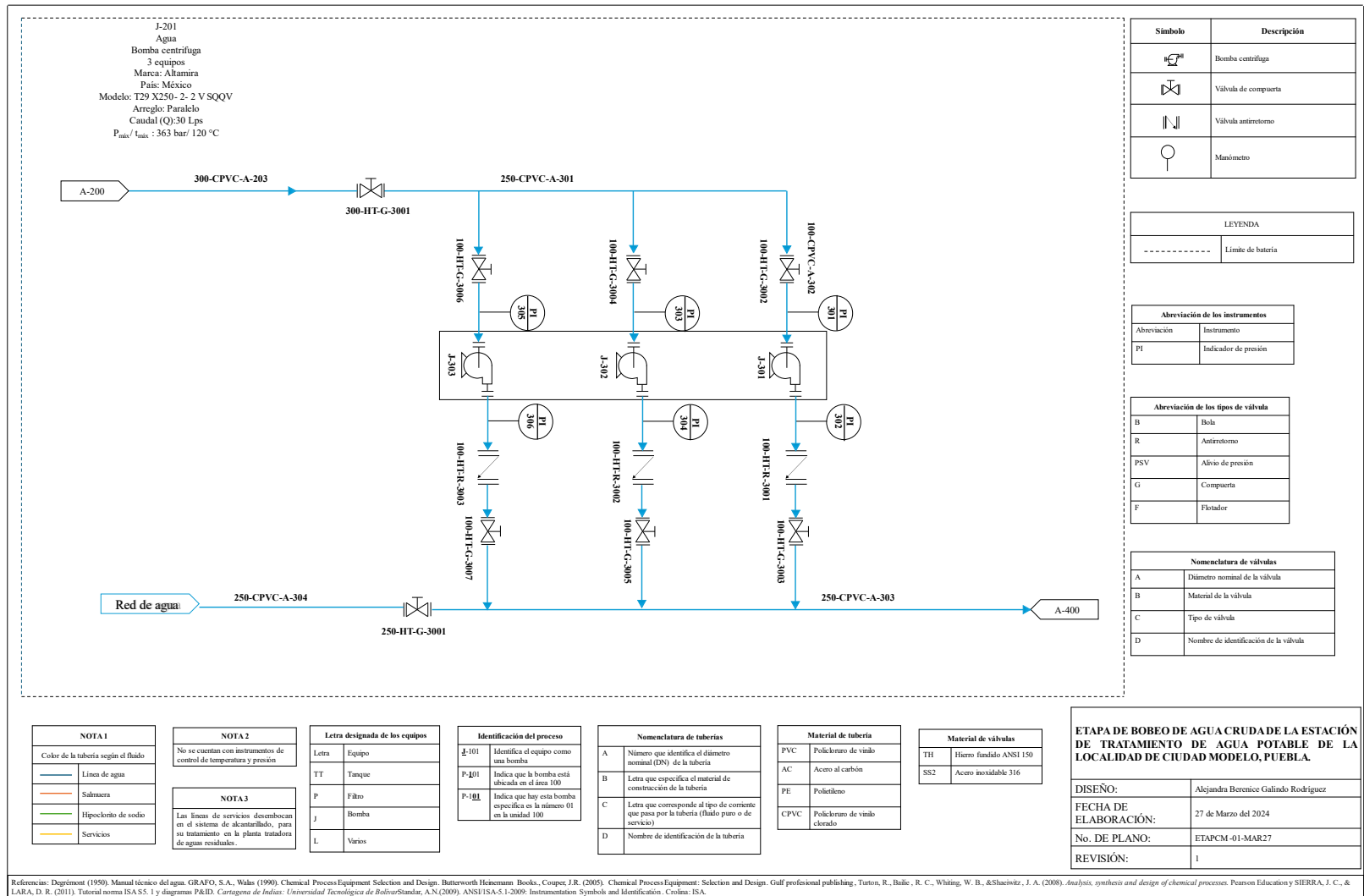


Figura 16-A15. Etapa de almacenamiento de agua cruda de la ETAPCM



Referencias: Degremont (1990). Manual técnico del agua. GRAFO, S.A., Wais (1990). Chemical Process Equipment Selection and Design. Butterworth Heinemann Books., Couspet, J.R. (2005). Chemical Process Equipment: Selection and Design. Gulf professional publishing., Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2008). Analysis, synthesis and design of chemical processes, Pearson Education y SIERRA, J. C., & LARA, D. R. (2011). Tutorial norma ISA 55.1 y diagramas P&ID. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar Standau, A.N.(2009). ANSI/ISA-5.1-2009: Instrumentation Symbols and Identification. Crolma: ISA.

**Figura 17-A15. Etapa de bombeo de agua cruda de la ETAPCM**

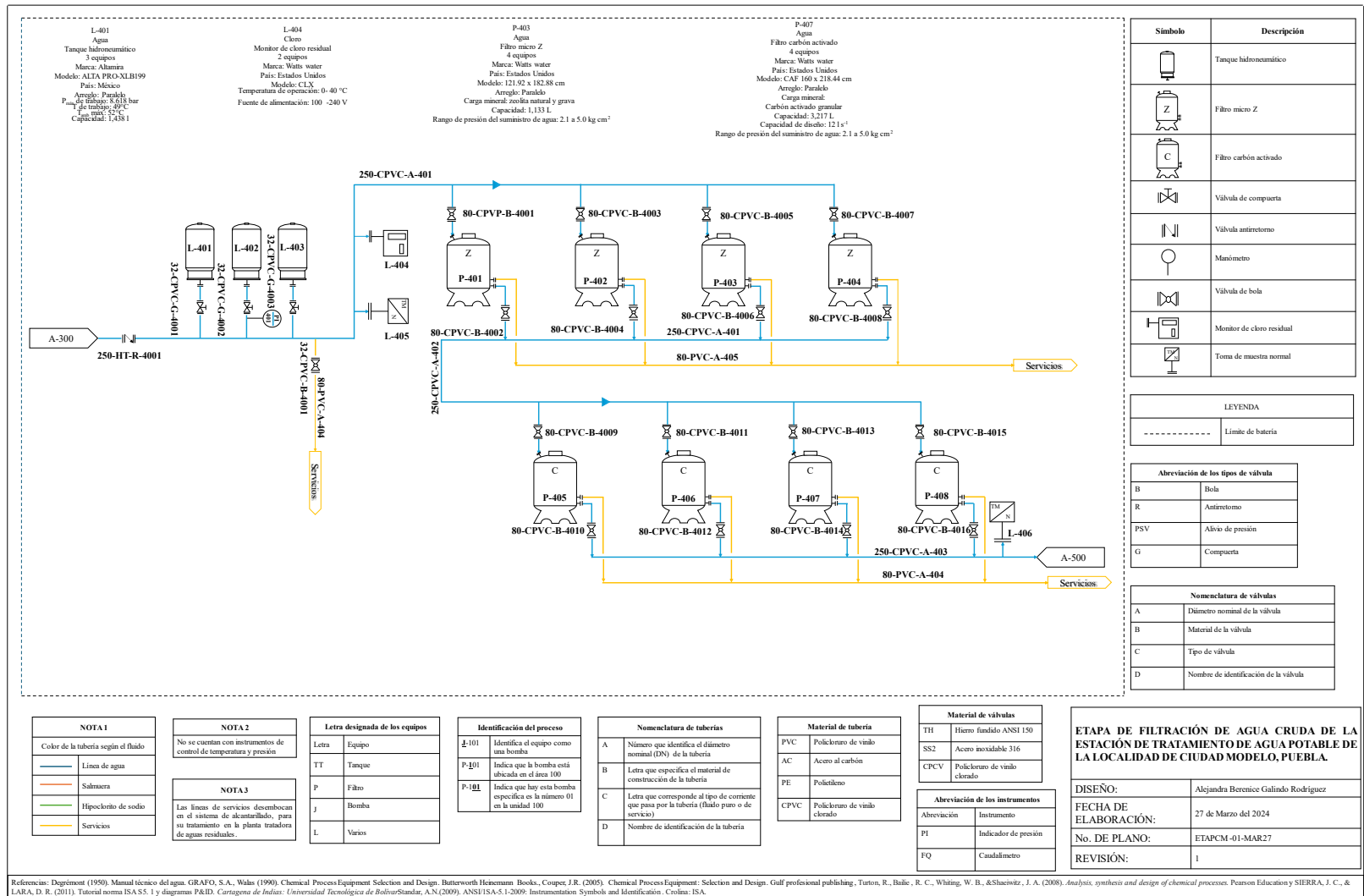


Figura 18-A15. Etapa de filtración de agua cruda de la ETAPCM

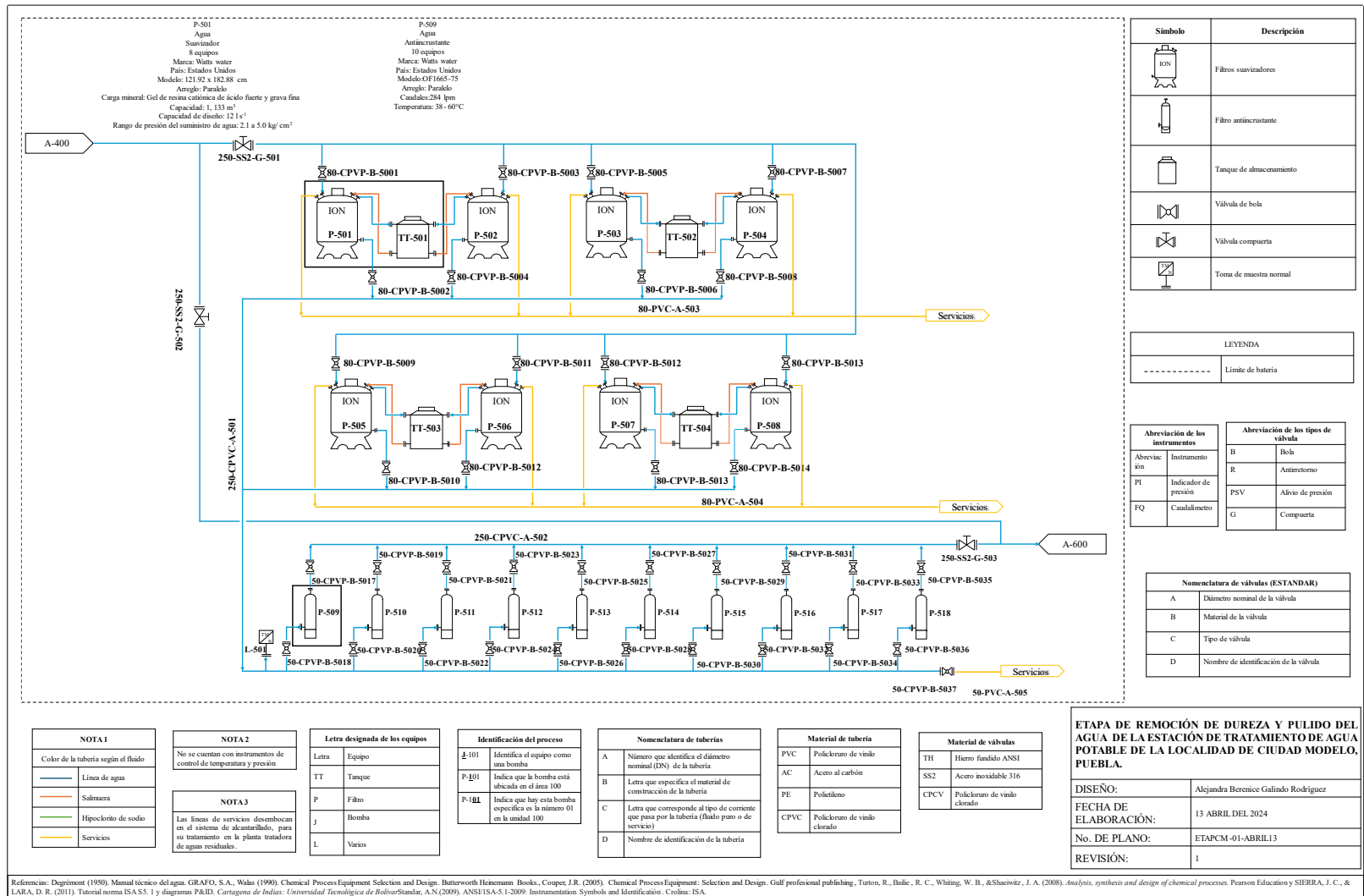
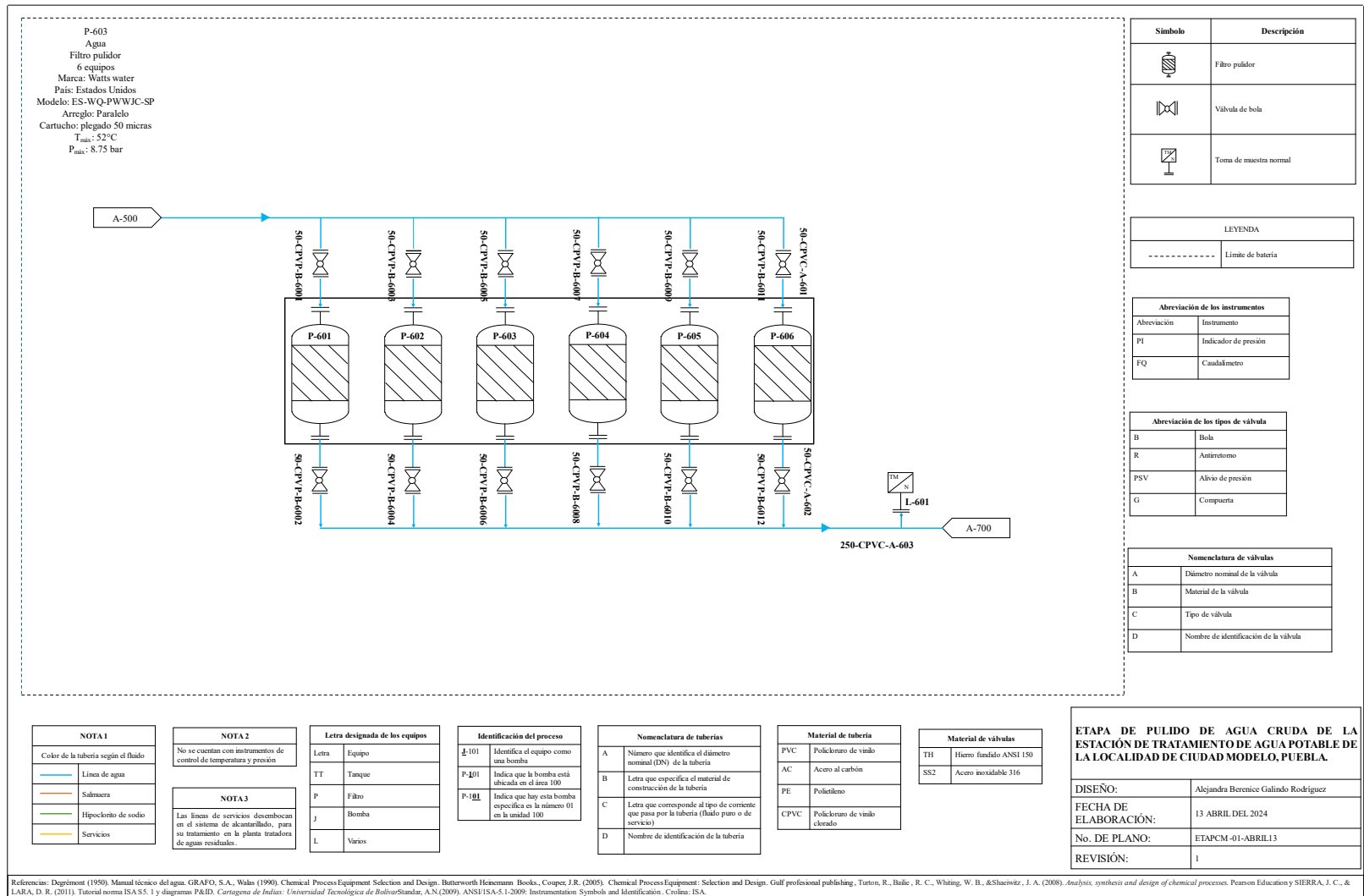
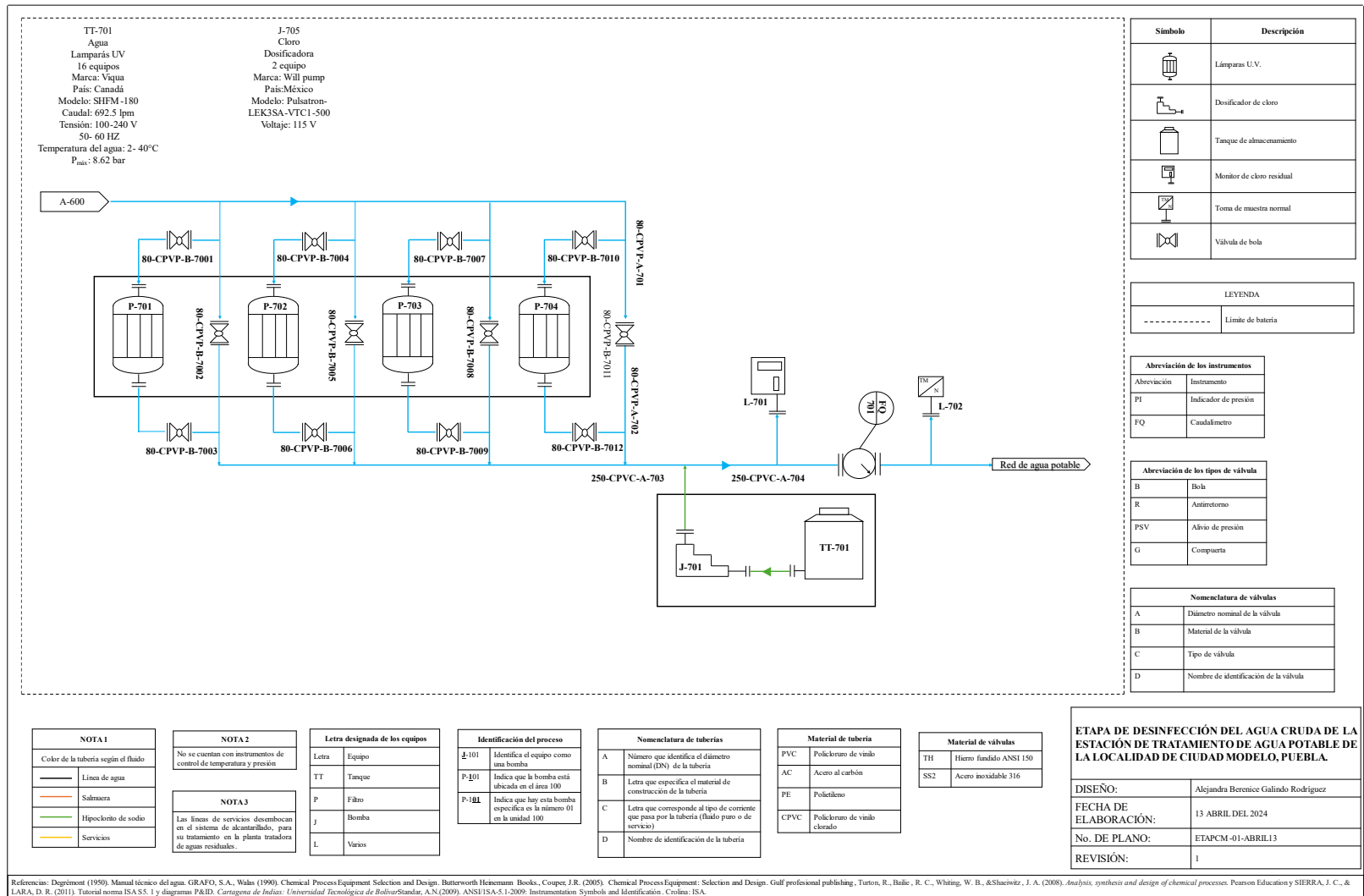


Figura 19-A15. Etapa de remoción de dureza de la ETAPCM



**Figura 20-A15. Etapa de pulido de agua de la ETAPCM**



**Figura 21-A15. Etapa de desinfección del agua de la ETAPCM**

**Anexo 16. Formato del diario de campo para ser aplicado en la localidad de Ciudad  
Modelo**

Diario de campo			
Fecha:		Lugar:	
Hora de inicio de la observación:		Hora de finalización:	
Nombre de quien reporta:			
Actividad:			
Resultados:			
Observaciones de los datos o hallazgos:			
Impacto de la experiencia:			
Comentarios finales:			

**Anexo 17. Formato aplicado de encuesta a los pobladores de la localidad de Ciudad Modelo**

**PRESENTACIÓN**

Buenos días, mi nombre es Alejandra Galindo Rodríguez. Vengo visitando algunos hogares de la localidad de Ciudad Modelo para obtener datos sobre el agua potable para una investigación en relación del servicio de tratamiento y abastecimiento agua potable. La información proporcionada será confidencial y será utilizada para fines estadísticos para este estudio. ¿Está usted de acuerdo en contestar este cuestionario?

**PRIMERA SECCIÓN: DATOS GENERALES**

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Ocupación: \_\_\_\_\_

Lugar de origen: \_\_\_\_\_

**Tabla 17-A20. Integración del nuevo núcleo urbano**

Pregunta	Respuesta				
	A	B	C	D	E
1. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la localidad de Ciudad Modelo?	Menos de 1 año	1-2 años	2-3 años	3-4 años	Más de 5 años
2. ¿Cuántas personas viven en su departamento?	1	2	3	4	Más de 5 personas
3. ¿En qué actividades emplea el agua potable?	Uso domestico	Recreativo	Tomar agua	Otros	Higiene personal
4. Si la pregunta 5 es afirmativa ¿Cada cuanto el sistema de agua potable hace llegar el agua a su hogar?	Diario	Cada tercer día	1 vez a la semana	2 veces al mes	Cada mes
5. ¿Qué tipo de almacenamiento usa para el agua?	Tanque	Cisterna	Bidones	Cubetas	Otros

**Tabla 18-A20. Segunda sección: Relación de los encuestados con el servicio de agua potable**

Pregunta	Respuesta	
	SI	NO
6. ¿Conoce que es una potabilizadora de agua o estación de tratamiento de agua potable (ETAP)?		
7. ¿Sabe, cada cuanto el sistema de agua potable hace llegar el agua a su hogar (profundice en su respuesta )?		
8. ¿Sabe a dónde va el agua (profundice en su respuesta)?		
9. ¿Le son suficientes los litros de agua para la realización de sus actividades cotidianas (profundice en su respuesta)?		
10. ¿Realiza alguna actividad de cuidado de agua (profundice en su respuesta)?		
11. ¿Considera que hace uso racional y eficiente del agua (profundice en su respuesta)?		
12. ¿Tiene en su hogar infraestructura de reducción de consumo de agua (presurizador/ doble pulsado de descarga de agua/ reutilización de agua)?		
13. ¿Ha carecido de agua (profundice en su respuesta)?		

Pregunta	Respuesta	
	SI	NO
14. ¿Ha padecido enfermedades estomacales como diarrea después de lavarse las manos o de tomar agua de la llave?		
15. ¿Consume el agua directamente del glifo?		
16. ¿Sabe de dónde viene el agua potable (profundice en su respuesta)?		
17. ¿Conoce el tratamiento al cuál es sometido el agua potable en su localidad (profundice en su respuesta)?		

**Tabla 19-A20. Tercera sección: análisis de las dimensiones**

Dimensión	Indicador	Pregunta	Puntúe en una escala de 1 a 5, siendo el 1 nada satisfecho y 5 totalmente satisfecho				
			1	2	3	4	5
Ecológica	Calidad del efluente	18. ¿Qué tan satisfecho se encuentra sobre la calidad del agua abastecida a su localidad (percepción de cloro)?					
Social	Aceptación pública	19. ¿Qué tan aceptable es el sabor del agua para usted?					
		20. ¿Qué tan aceptable es el olor del agua para usted?					
		21. ¿Qué tan aceptable es el color del agua para usted?					
		22. ¿Cuál es el grado de confianza en la ETAP?					
	Estética	23. ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP de acuerdo con el olor del agua para usted?					
		24. ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP de acuerdo con el ruido el agua para usted?					
		25. ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP de acuerdo con el impacto visual para usted?					

Dimensión	Indicador	Pregunta	Puntúe en una escala de 1 a 5, siendo el 1 nada satisfecho y 5 totalmente satisfecho				
			1	2	3	4	5
	Percepción del servicio	26. ¿Qué grado de satisfacción existe con respecto a la cantidad del agua?					
		27. ¿Qué grado de satisfacción existe con respecto a la calidad del agua?					
Económica	Asequibilidad	28. ¿Considera que la relación calidad/ precio del agua es el adecuado?					
		29. ¿Estaría dispuesto a pagar más por el servicio, si mejorara la calidad del agua?					
Técnica	Seguridad	30. ¿Qué tan satisfecho se encuentra sobre la estabilidad estructural en su trabajo?					
Institucional	Información	31. ¿Con qué número se siente identificado sobre el conocimiento que posee sobre la ETAP?					

*Anexo 18. Diarios de campo realizados en la localidad de Ciudad Modelo*

**Tabla 20-18. Diario de campo realizado el 01 de abril del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo**

Diario de campo			
Fecha:	01 de abril 2024	Lugar:	Localidad de Ciudad Modelo
Hora de inicio de la observación:	08:23 am	Hora de finalización:	14:00 pm
Nombre de quien reporta:	Alejandra Berenice Galindo Rodríguez		
Actividad:	<p>Descripción del dinamismo de los pobladores de la localidad de Ciudad Modelo:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Zona habitacional Aisa</p>  <p>Zona habitacional El Pilar</p> </div>		



Hotel



Centro de convenciones



CIS (Centro Integral de Servicios)




Plaza comercial





IMSS



Centro escolar

	 <p style="text-align: center;">Campus del Instituto Politécnico Nacional</p>
Resultados:	La realización de esta visita permitió realizar la actividad de observación no participativa en diversos puntos de importancia poblacional en la localidad de Ciudad Modelo
Observaciones de los datos o hallazgos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es importante mencionar que la zona habitacional del Pilar cuenta con diversos locales comerciales (tiendas de abarrotes, verdulería- frutería, venta de agua) en las cuales se observa dinamismo de los residentes.</li> <li>- Así mismo, se observa poca fluctuación de los pobladores por las vías de tránsito. Por lo que el medio de transporte es el auto y los servicios públicos de transporte.</li> <li>- Se observa la construcción de un campus del politécnico nacional en la zona sur de la localidad, por lo que se presenta crecimiento en la localidad.</li> </ul>
Impacto de la experiencia:	Al realizar esta visita en periodo vacacional se observa poco movimiento en la zona escolar, sin embargo, se presenta crecimiento por la construcción del campus del Politécnico
Comentarios finales:	La dinámica social de los pobladores pertenecientes a la localidad de Ciudad Modelo se desarrolla a actividades familiares y económicas.

**Tabla 21-A18. Diario de campo realizado el 15 de abril del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo**

Diario de campo			
Fecha:	15 de abril del 2024	Lugar:	Localidad de Ciudad Modelo
Hora de inicio de la observación:	8:00 am	Hora de finalización:	10:00 am
Nombre de quien reporta:	Alejandra Berenice Galindo Rodríguez		
Actividad:	<p>Observación no participativa del dinamismo en la zona escolar de la localidad de Ciudad Modelo:</p> <div style="text-align: center;">  <p>Centro Escolar</p>  <p>IMSS y Centro Escolar</p> </div>		

Diario de campo



UTBIS Puebla SJC



Complejo Regional Centro sede San José Chiapa BUAP

<p>Resultados:</p>	<p>Se observa movilidad de la comunidad estudiantil en autos particulares, autobuses y combis. Por lo que se observa la presencia de policías de tránsito y de comerciantes ambulantes que disponen de un transporte móvil.</p>
<p>Observaciones de los datos o hallazgos:</p>	<p>La comunidad estudiantil cuenta con un servicio de transporte fluido que permite la movilidad del alumnado proveniente de los municipios cercanos.</p>
<p>Impacto de la experiencia:</p>	<p>La presencia de alumnado en la región sur del polígono de Ciudad Modelo muestra dinamismo, ya que se desarrollan actividades deportivas, educativas, comerciales y culturales. Observando la presencia de una comunidad móvil, ya que muchos de los alumnos son desplazados a la zona estudiantil.</p>


Diario de campo	
Comentarios finales:	Se observa una comunidad estudiantil dinámica, es decir; integrado por alumnado de primaria, secundaria, bachillerato y licenciatura. Que depende del servicio de transporte.

**Tabla 22-A18. Diario de campo realizado el 01 de mayo del 2024 en la localidad de Ciudad Modelo**

Diario de campo			
Fecha:	01 de mayo 2024	Lugar:	Localidad de Ciudad Modelo
Hora de inicio de la observación:	08:30 am	Hora de finalización:	13:00 pm
Nombre de quien reporta:	Alejandra Berenice Galindo Rodríguez		
Actividad:	Observación no participativa de las zonas habitacionales de la localidad de Ciudad Modelo.		
	 <p>Zona habitacional Aisa</p>		
	 <p>Mercado</p>		



Zona habitacional El Pilar

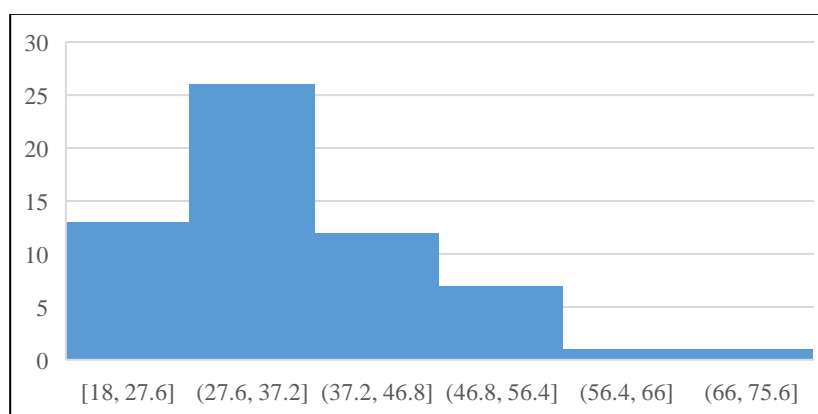
	 <p>Zona habitacional El Pilar</p>
<p>Resultados:</p>	<p>Debido a que se realizó esta visita en un día inhábil, se observa la presencia de alumnado, trabajadores y familias realizando actividades hogareñas (limpieza, paseo de sus mascotas, recreación con amigos).</p>
<p>Observaciones de los datos o hallazgos:</p>	<p>No se puede ingresar libremente a la zona habitacional El Pilar, ya que es necesario solicitar permiso con el administrador. Solo la zona habitacional de El Pilar cuenta con locales comerciales, sin embargo, se encuentran retirados de la zona habitacional de Aisa, por lo que se observan diversos departamentos ofreciendo servicios como: papelería, internet, comida corrida, tienda, lavandería, etc.</p>
<p>Impacto de la experiencia:</p>	<p>A pesar de contar con una infraestructura destinada para el comercio “Mercado”, este no se encuentra en operación. Por lo que se observan pequeñas tiendas con productos empaquetados y como consecuencia la falta de productos frescos.</p>
<p>Comentarios finales:</p>	<p>Se observa una comunidad compuesta de diversas edades y se observa la importancia del uso de transporte para la realización de las actividades cotidianas.</p>

### ***Anexo 19. Resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta***

Se realizada del 19 de abril al 01 de mayo del 2024, en la cual participaron 60 residentes de la localidad de Ciudad Modelo, San José Chiapa, Puebla.

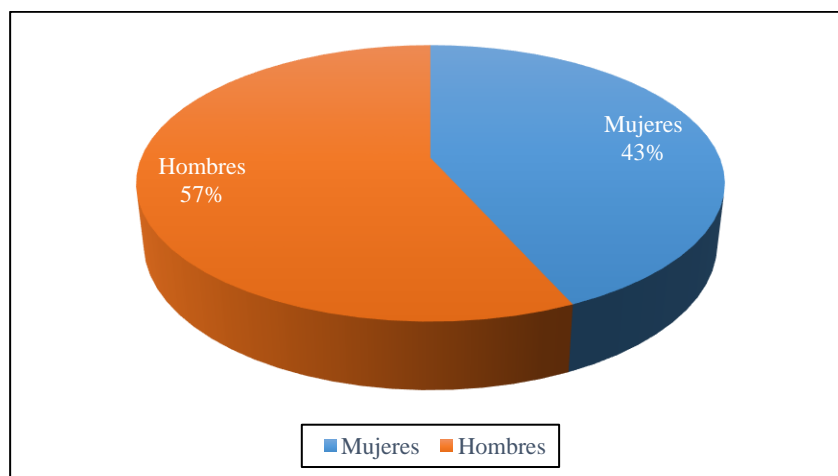
En seguida se abordan los datos pertenecientes a la primera sección de la encuesta, orientados a la comprensión de la población de estudio.

La Figura 22-A19 se muestran las edades de los habitantes encuestados, en la cual se observa que la población se encuentra en su mayoría entre la edad de 18 a 57 años. Lo cual se ve reflejado en los datos proporcionados por INEGI.



***Figura 22-A19. Edad de los habitantes encuestados de la localidad de Ciudad Modelo***

En la Figura 23-A19, se muestran el sexo de los pobladores que participaron en la encuesta, notando con un 56.7% una mayor participación de hombres.

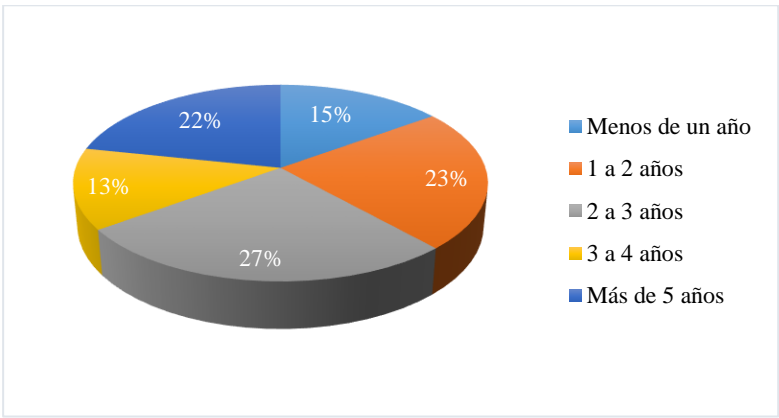


***Figura 23-A19. Sexo de los habitantes encuestados en la localidad de Ciudad Modelo***



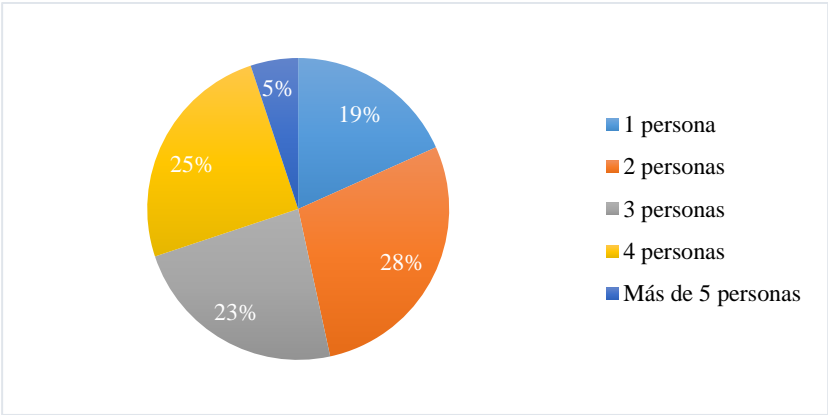
En seguida se muestran los resultados obtenidos correspondientes a la segunda sección, dirigidos a la relación de los pobladores con el empleo del agua y la percepción de ellos con el servicio de abastecimiento de agua potable de su localidad.

La Figura 26-A19, muestra los resultados obtenidos por la pregunta: ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la localidad de Ciudad Modelo? Observa que el 26.7% de los habitantes encuestados presentan un promedio de 2 a 3 años residiendo en la localidad, lo que puede atribuirse a la disminución de las tarifas para adquirir viviendas debido al COVID y al reinicio de actividades presenciales.



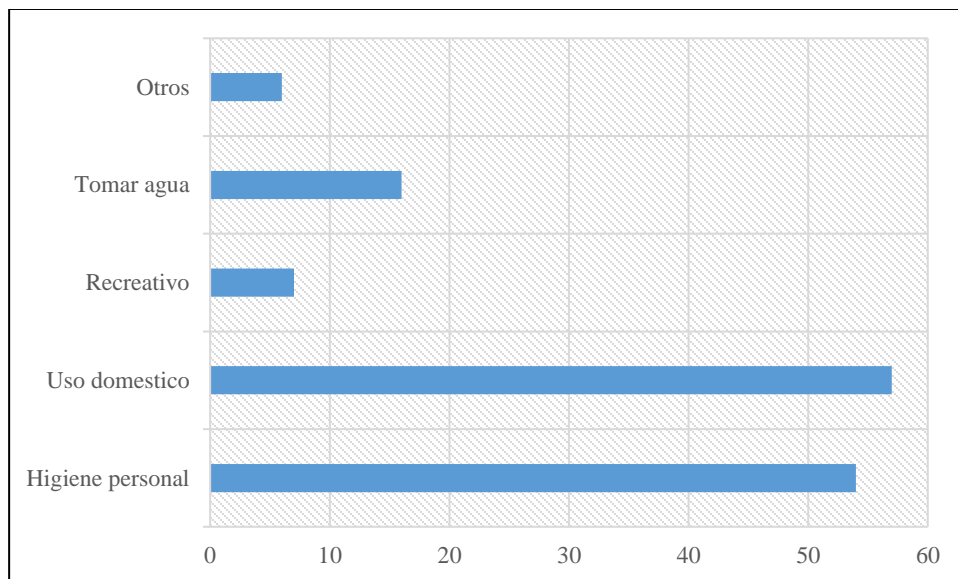
**Figura 26-A19. Tiempo en la localidad**

En la Figura 27-A19, se muestran los resultados obtenidos por la pregunta: ¿Cuántas personas viven en su departamento?, observando que un 28.3% de los encuestados viven acompañados de alguien más y un 25% reside con tres personas, lo que puede indicar una la formación de núcleos familiares.



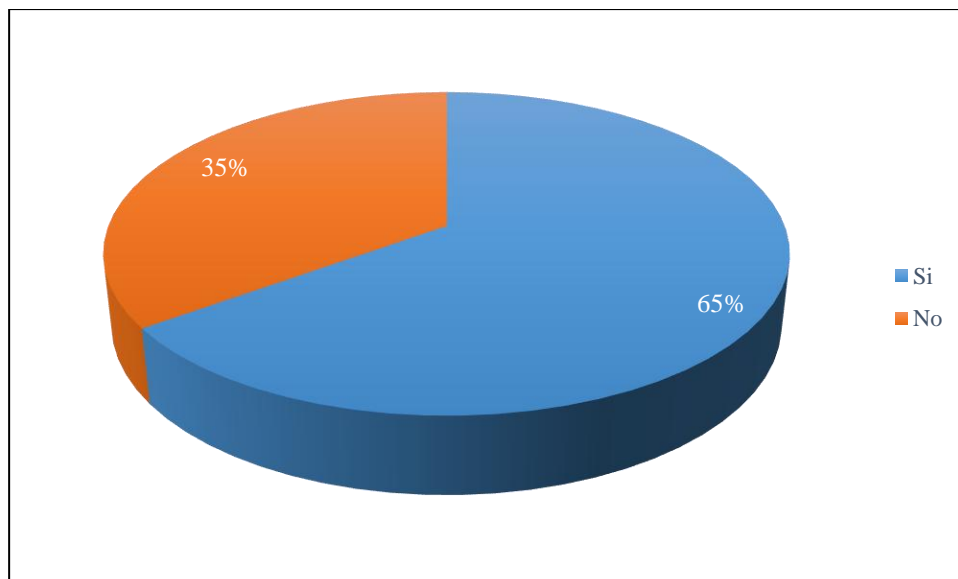
**Figura 27-A19. Número de individuos en los departamentos**

En la Figura 28-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿En qué actividad emplea el agua potable? Observando que el mayor empleo es para la realización de actividades domésticas y la higiene personal.



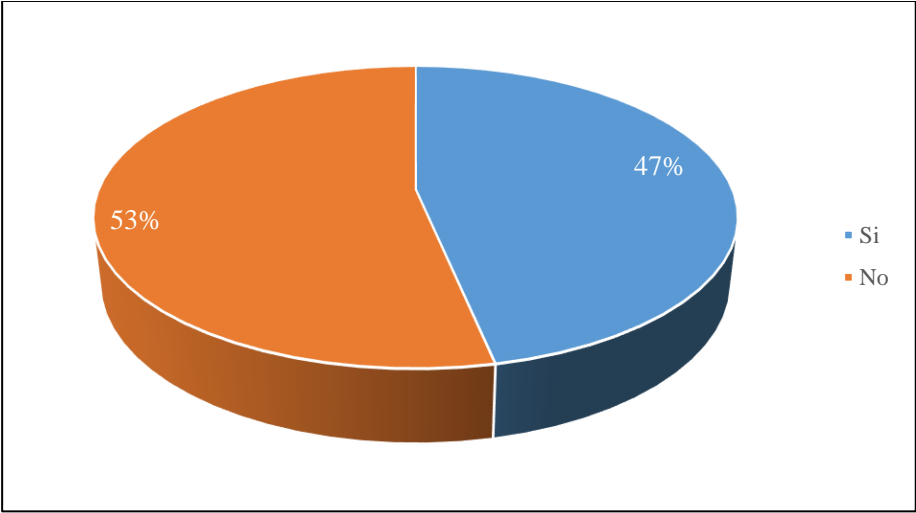
**Figura 28-A19. Actividades en las que son empleadas el agua**

En la Figura 29-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Conoce que es una potabilizadora o ETAP? Observando que un 65% de los encuestados desconocen el término.



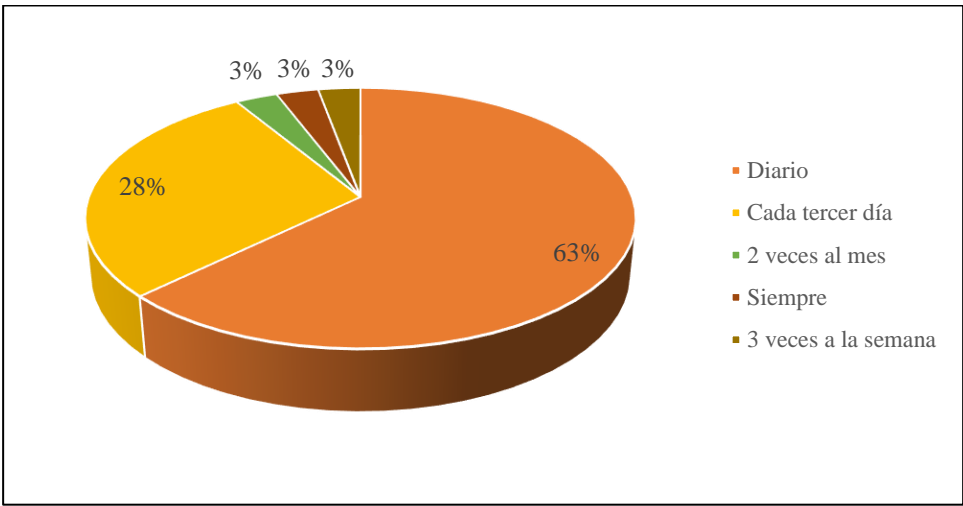
**Figura 29-A19. Conocimiento sobre el término de potabilizadora**

La Figura 30-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Cada cuanto el sistema de agua potable hace llegar el agua a su hogar? Donde un 53.3% de los encuestados desconocen sobre el tema en contraste del 47%.



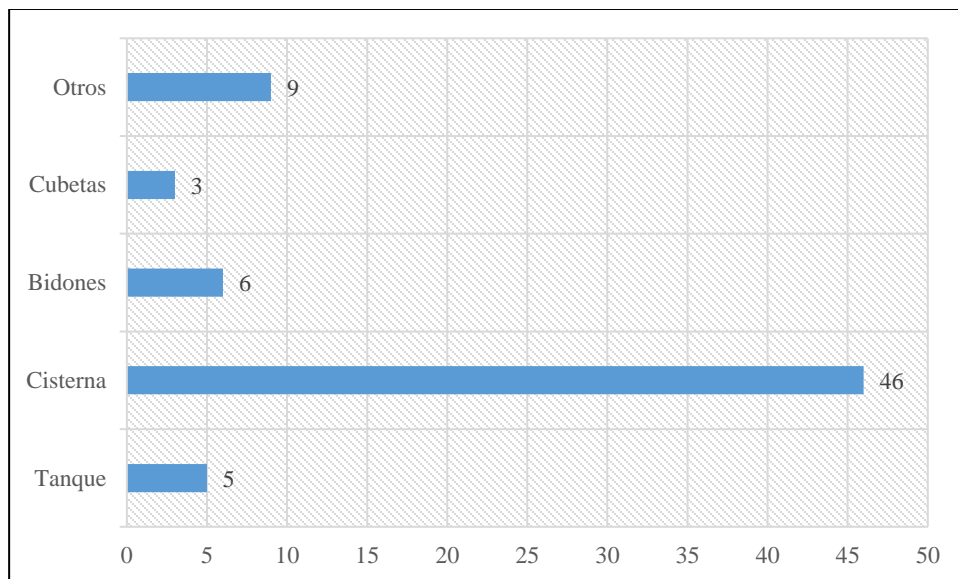
**Figura 30-A19. Abastecimiento de agua**

En la Figura 31-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Cada cuándo el sistema de agua potable hace llegar el agua su hogar? Es importante señalar que esta pregunta sólo fue respondía por aquellos encuestados quienes en la pregunta anterior conocen la periodicidad del abastecimiento del líquido vital (47% correspondiente a la Figura 30- A19). Por lo que con un 62.9% respondieron que la periodicidad es diaria.



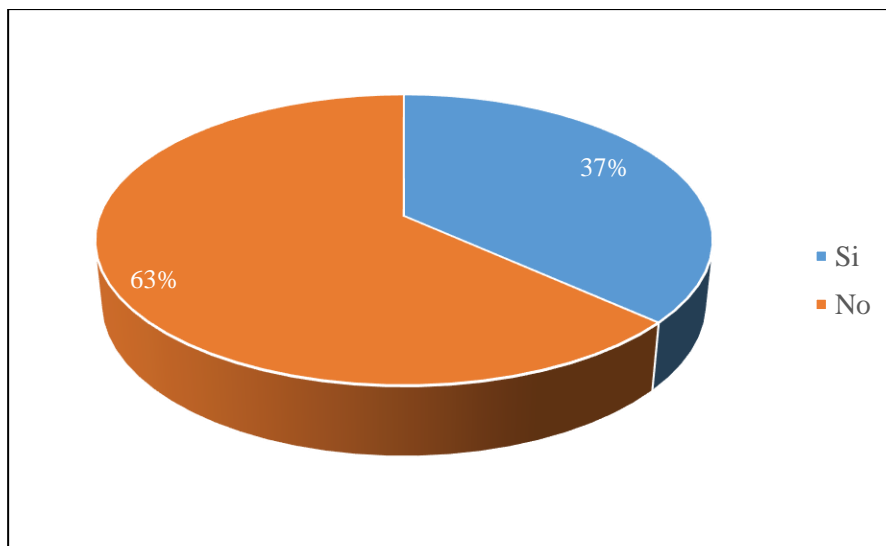
**Figura 31-A19. Profundización sobre el conocimiento en el abastecimiento de agua**

La Figura 32-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tipo de almacenamiento emplea para el agua potable? Observando que el 76.7%, es decir 46 de los encuestados respondieron emplear un sistema de abastecimiento tipo cisterna.



**Figura 32-A19. Tipo de almacenamiento del agua potable**

En la Figura 33-A19, se muestran los resultados obtenidos por la pregunta: ¿A dónde va el agua después de ser empleada? Observando que el 63% de los encuestados desconocen la disposición del agua después de ser empleada en alguna actividad doméstica.



**Figura 33-A19. Disposición del agua después de ser empleada**

En la Tabla 23-A19, se observan los resultados obtenidos de la pregunta: ¿A dónde va el agua después de ser empleada? Esta pregunta fue contestada por 33 habitantes (Figura 40-A17), quienes conocen la disposición del agua. Un 39.39%, (13 respuestas) señalan que el agua gris es conducida a una planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Mientras que un 30.30% (10 respuestas) indican desconocer la disposición del agua gris. Un 21.21% (7 respuestas) muestran que el agua es dispuesta en el drenaje, un 6.06% (2 respuestas) revelan que el agua es empleada para el riego, un 3.03% (1 respuesta).

**Tabla 23-A19. Disposición del agua después de ser empleada**

Con base a la pregunta anterior profundice su respuesta. (33 respuestas)
Drenaje (7 respuestas)
Planta tratadora de agua residual (13 respuestas)
Desconozco (10 respuestas)
Riego (2 respuestas)
A la red municipal (1 respuesta)

En la Tabla 24-A19, se observan los resultados obtenidos por la pregunta: ¿Le son suficientes los litros de agua para la realización de sus actividades cotidianas? Con un 98.33 % de respuestas afirmativas, los encuestados mencionan que le es suficiente el agua aludiendo que emplean solo el agua necesaria para sus actividades, así como la posibilidad de solicitar más agua, además mencionan que el agua le es suficiente debido a que su almacenamiento es en una cisterna. Mientras que un 1.67%, indica no serle suficiente el agua para sus actividades cotidianas.

**Tabla 24-A19. Suficiencia de los litros de agua para realizar sus actividades**

¿Le son suficientes los litros de agua para la realización de sus actividades cotidianas? (Profundice en su respuesta) (60 respuestas)
Si (59 respuestas), sólo ocupas la necesaria, incluso se puede solicitar más, siempre hay agua debido a que es almacenada.
No (1 respuesta)

En la Tabla 25-A19, se observan los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Realiza alguna actividad de cuidado de agua? Con un 88.3% de respuestas afirmativas, los encuestados mencionan que las actividades realizadas para el cuidado de agua son duchas rápidas, revisión de llaves para evitar fugas y la reutilización del agua para riego. Mientras que un 11.6 %, señala encontrarse dispuestos a realizar actividades de cuidado de agua.

**Tabla 25-A19. Cuidado del agua potable**

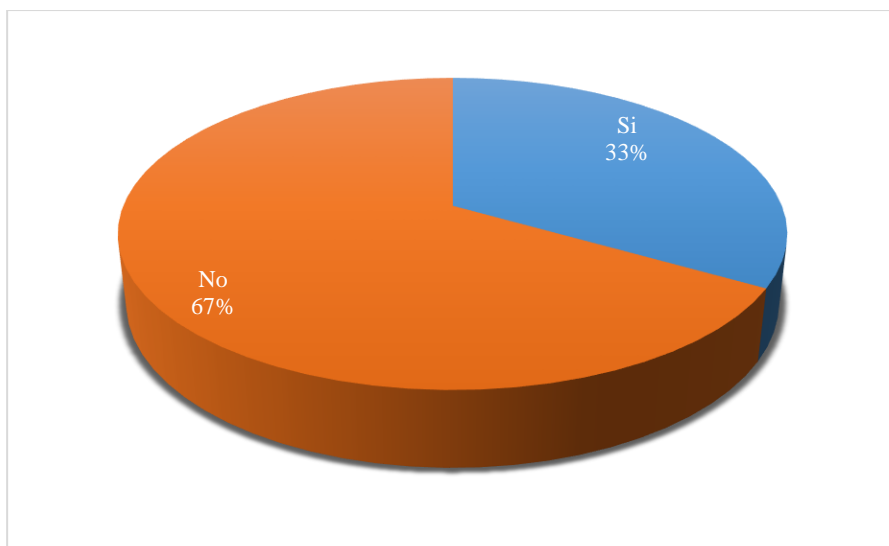
¿Realiza alguna actividad de cuidado de agua? (Profundice en su respuesta) 60 respuestas
Si (53 respuestas), ducha rápida, revisión de llaves, reutilización del agua para el riego y otras actividades,
No (7 respuestas), se encuentran abiertos al cuidado del agua y poco tiempo de residencia en la localidad

En la Tabla 26-A19, se observan los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Considera que hace uso racional y eficiente del agua? Obteniendo un 88.33% de las respuestas afirmativas, las cuales enfatizan actividades de reusó y reducción del consumo de agua. Mientras que un 11.67% señalan no hacer uso racional del agua al ducharse.

**Tabla 26-A19. Uso racional y eficiente del agua potable**

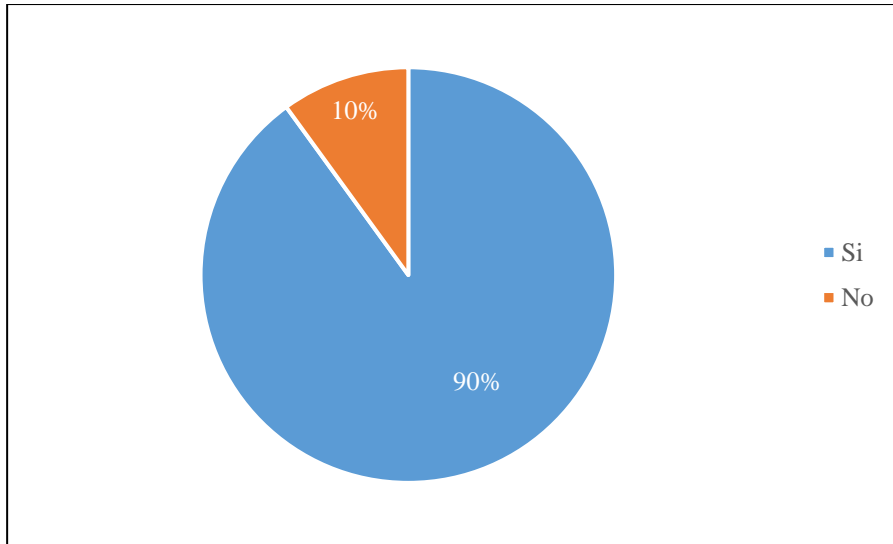
¿Considera que hace uso racional y eficiente del agua? (Profundice en su respuesta)
60 respuestas
Si (53 respuestas), se ocupa la necesaria sin desperdiciarla, se reúsa el agua, empleo racional del agua y se evitan fugas del líquido.
No (7 respuestas), tanto, se pierde agua al bañarse.

En la Figura 34-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Tiene en su hogar infraestructura de reducción de consumo de agua (presurizador/ doble pulsado de descarga de agua)? Observando que un 67% de los encuestados no cuentan con infraestructura para la reducción del consumo.



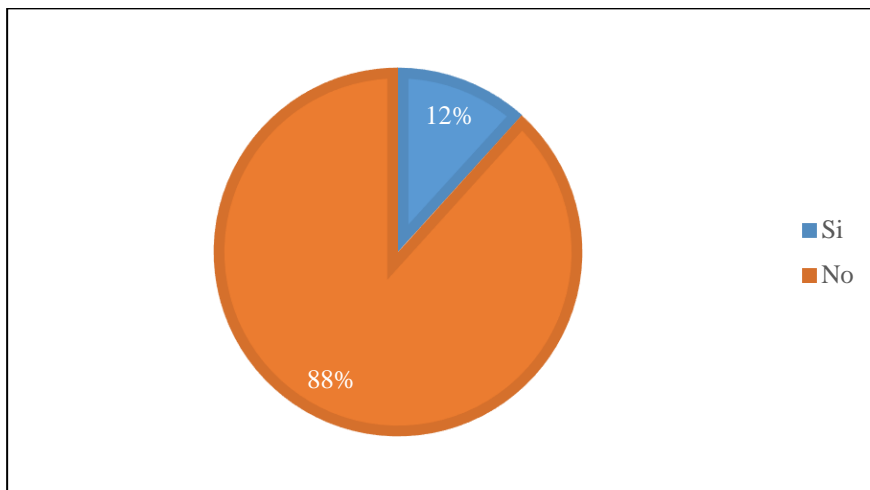
**Figura 34-A19. Infraestructura de reducción de consumo de agua**

En la Figura 35-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Ha padecido enfermedades estomacales como diarrea después de lavarse las manos o de tomar agua de la llave? Obteniendo un 90% de respuestas negativas, ya que los encuestados mencionan no tener la confianza del empleo del agua potable.



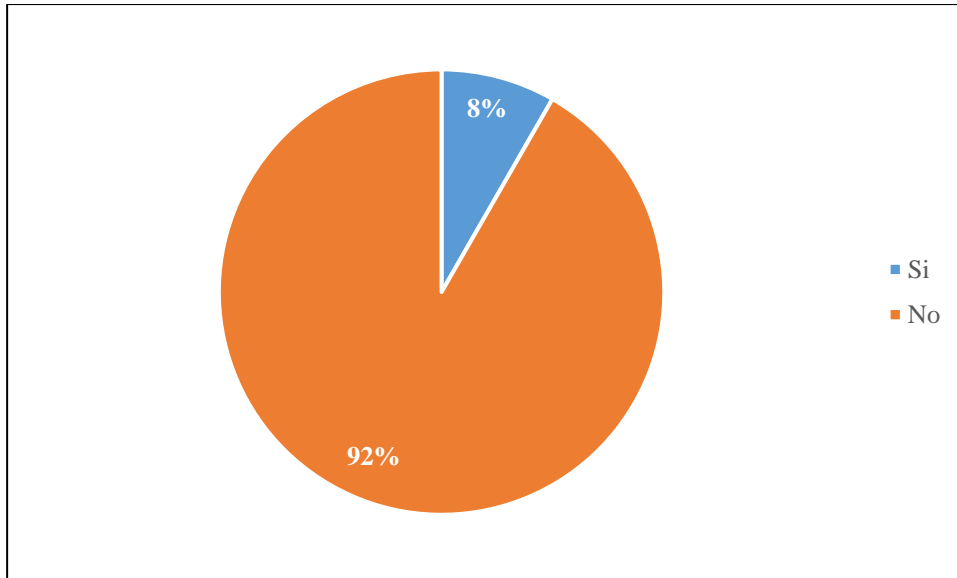
***Figura 35-A19. Enfermedades hídricas***

La Figura 36-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Consume el agua directamente de la llave? Obteniendo un 88% de respuestas negativas de los participantes, ya que refieren no tener confianza en el tratamiento del agua y en el sistema de almacenamiento (cisternas) de sus zonas habitacionales.



***Figura 36-A19. Consume agua directamente del grifo***

En la Figura 37-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Posee algún filtro en su vivienda? Observando que solo un 8% cuenta con algún filtro, esto se verificó durante la aplicación de encuestas, ya que se realizó un recorrido por las zonas habitacionales, encontrando la presencia de filtros comerciales empleados para hogares.



**Figura 37-A19. Empleo de filtros en la vivienda**

En la Tabla 27-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Sabe de dónde viene el agua potable? (Profundice en su respuesta) Con un 93.33% (56 respuestas) de respuestas positivas se indica como origen del agua potable el pozo, la planta potabilizadora, la planta tratadora y cisterna. Notando la falta de información y el interés de los pobladores sobre el origen del agua potable.

**Tabla 27-A19. Noción sobre el origen del agua potable en la localidad de Ciudad Modelo**

18. ¿Sabe de dónde viene el agua potable? (Profundice en su respuesta) 60 respuestas
Si (56 respuesta) pozo, planta potabilizadora, planta tratadora, cisterna
No (4 respuestas) se desconoce

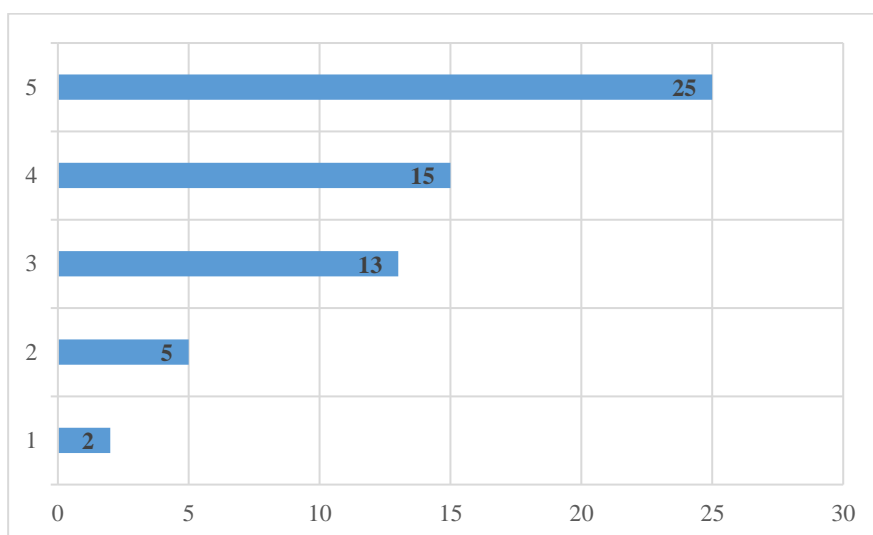
En la Tabla 28-A19, se observan los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Conoce el tratamiento al cuál es sometido el agua potable en su localidad? Donde un 13% de los encuestados conoce el tratamiento del agua potable, señalando la filtración y el clorado; en contraste un 87% desconoce sobre el tratamiento empleado.

***Tabla 28-A19. Noción sobre el tratamiento del agua potable del grupo de encuestados de la localidad de Ciudad Modelo***

19. ¿Conoce el tratamiento al cuál es sometido el agua potable en su localidad? (Profundice en su respuesta)
60 respuestas
Si (8 respuestas) filtrada y clorada
No (52 respuestas) se desconoce

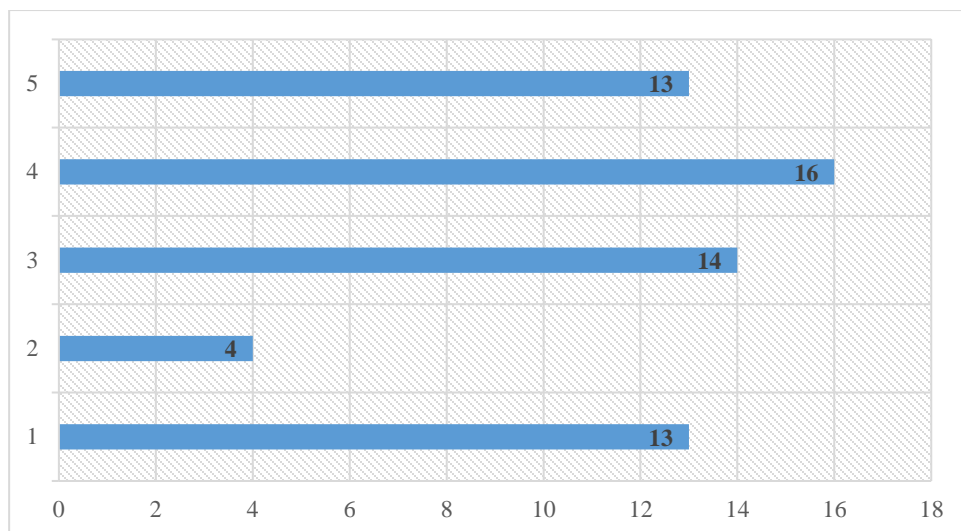
Por último, se muestran los resultados obtenidos de la tercera sección de la encuesta. Recordando que dichas respuestas se valoraron por el grado de satisfacción de los encuestados. Donde el número 1 indica nada satisfecho, 2 poco satisfecho, 3 neutral, 4 muy satisfecho y 5 totalmente satisfecho.

En la Figura 38-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan satisfecho se encuentra sobre la calidad del agua abastecimiento en su localidad? Donde el mayor número de respuestas corresponden al grado de totalmente satisfecho (25 respuestas), así mismo con 20 respuestas (33.3%) se observa un menor grado en comparación de las 40 respuestas (66.7%) de los encuestados quienes se encuentran satisfechos con la calidad del agua.



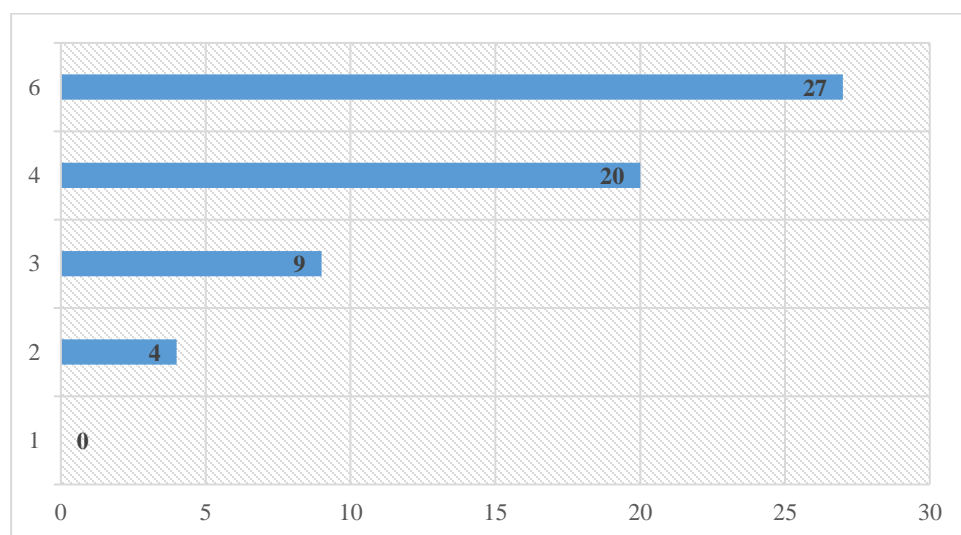
***Figura 38-A19. Grado de satisfacción sobre la calidad del agua abastecida a la localidad***

En la Figura 39-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es el sabor del agua para usted? El mayor número de respuestas corresponde al grado de muy satisfecho con 16 respuestas, así mismo con 31 respuestas (51.7%) se observa una menor satisfacción en comparación de las 29 respuestas (48.4%) de los encuestados quienes se encuentran satisfechos con el sabor del agua.



**Figura 39-A19. Grado de aceptabilidad del sabor del agua potable**

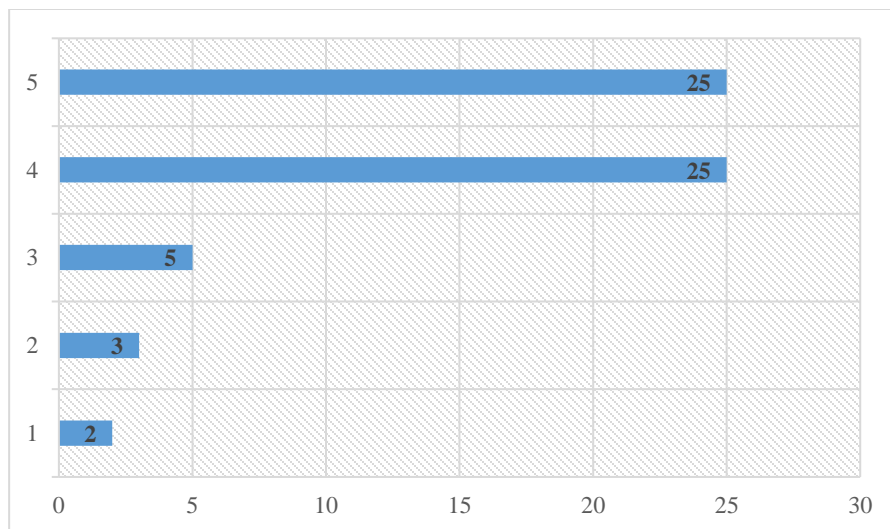
En la Figura 40-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es el olor del agua para usted? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 27 respuestas (45%), así mismo con 13 respuestas (21.7%) se observa un grado de satisfacción menor en comparación de las 47 respuestas (78.3%) de los encuestados se encuentran satisfechos con el olor del agua.



**Figura 40-A19. Grado de aceptabilidad del olor del agua potable**

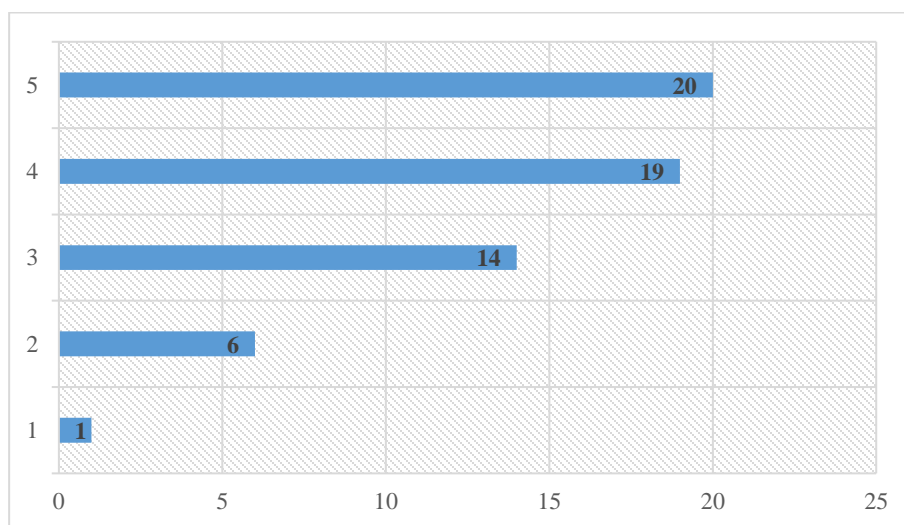
En la Figura 41-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es el color del agua para usted? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 25 respuestas (41.7%) y muy satisfecho con 25

respuestas (41.7%), así mismo con 10 respuestas (16.6%) se observa un grado de satisfacción menor en comparación de las 50 respuestas (83.4%) de los encuestados quienes se encuentran satisfechos con el color del agua.



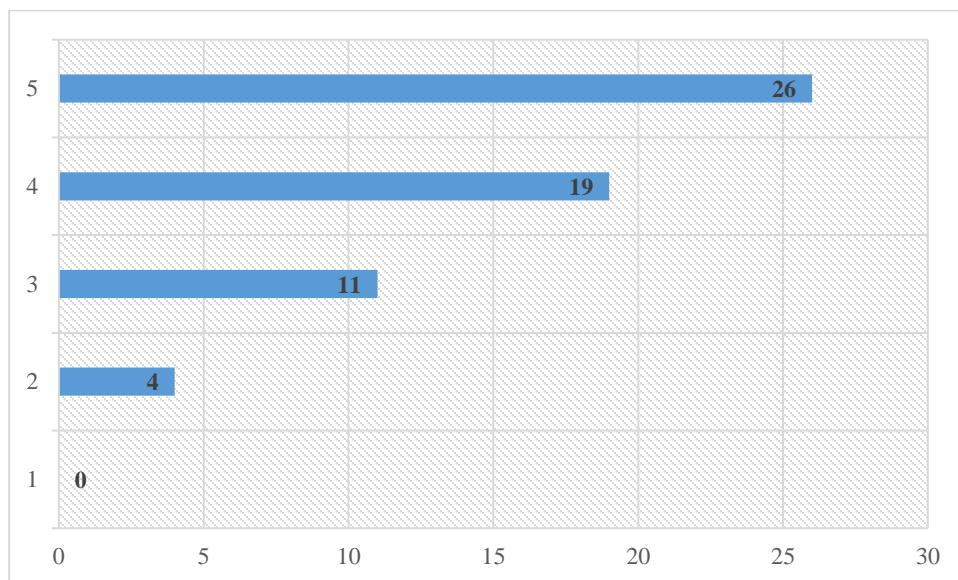
**Figura 41-A19. Grado de aceptabilidad del color del agua potable**

En la Figura 42-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Cuál es el grado de confianza en la ETAP o planta potabilizadora para usted? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 20 respuestas (33.3%), así mismo con 21 respuestas (35%) se muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 39 respuestas (65%) de los encuestados, quienes confían en la ETAPCM.



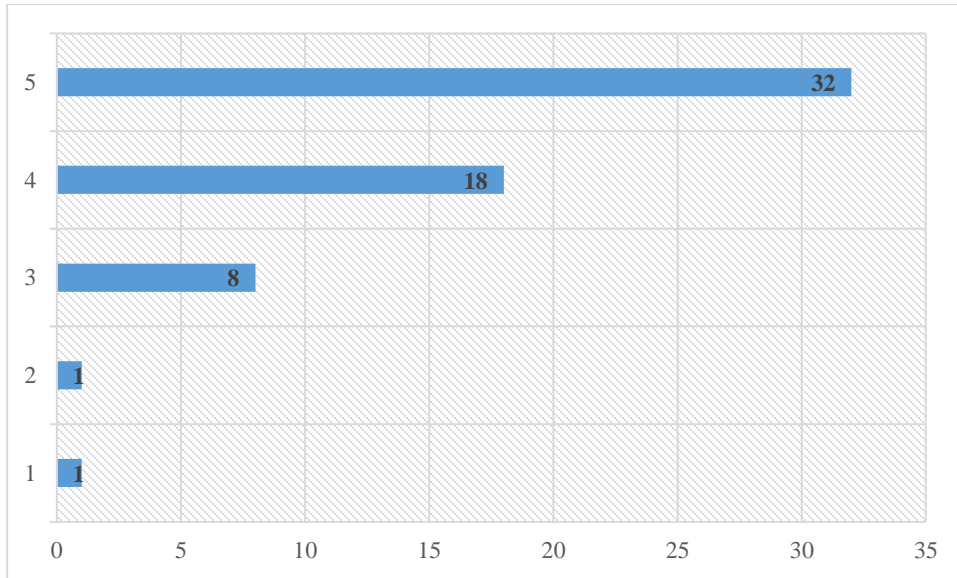
**Figura 42-A19. Grado de confianza en la ETAPCM**

En la Figura 43-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP de acuerdo con el olor? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 26 respuestas (43.3%), así mismo con 15 respuestas (25%) se muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 45 respuestas (75%) de los encuestados, para quienes es aceptable el olor de la ETAPPCM.



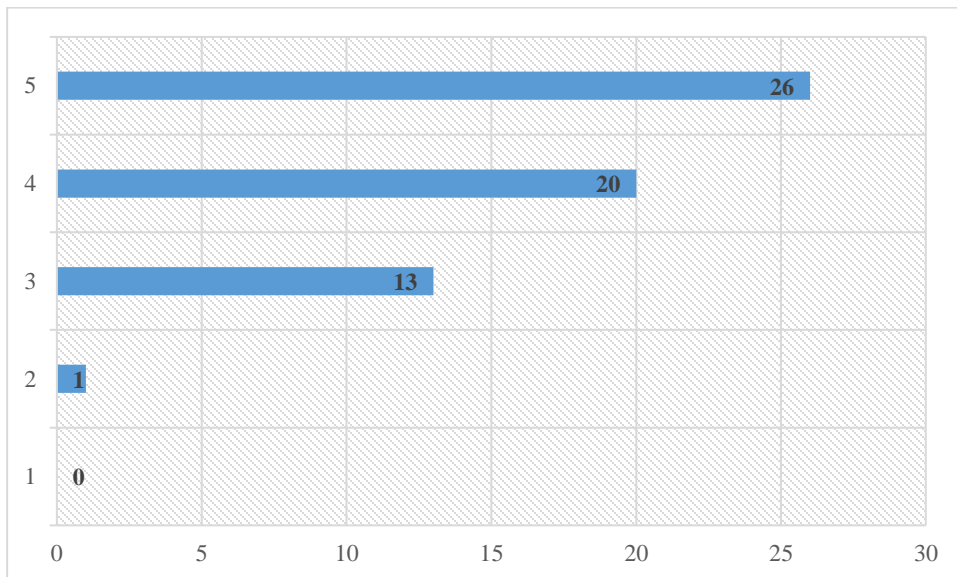
**Figura 43-A19. Percepción del olor de la ETAPPCM de los encuestados**

En la Figura 44-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP o planta potabilizadora de acuerdo con el ruido generado por el tratamiento del agua? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 32 respuestas (53.3%), así mismo con 10 respuestas (16.7%) se muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 50 respuestas (83.3%) de los encuestados, quienes están de acuerdo con el ruido generado de la ETAPPCM.



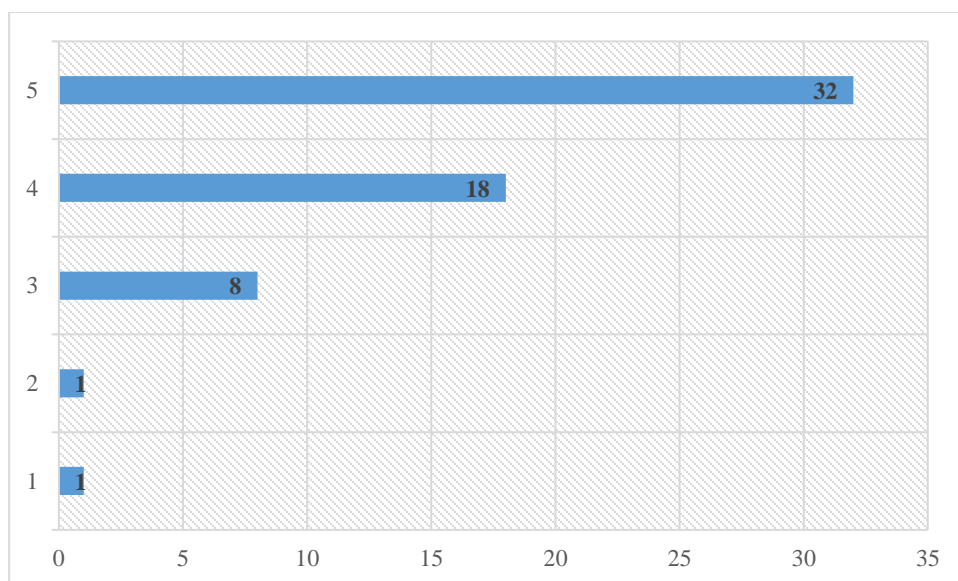
**Figura 44-A19. Grado de aceptabilidad de la generación de ruido generado por al tratamiento de la ETAPCM**

En la Figura 45-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan aceptable es para usted la ETAP de acuerdo con el impacto visual? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 26 respuestas (43.3%), así mismo con 14 respuestas (23.4%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 46 respuestas (76.6%) de los encuestados, quienes señalan que el impacto visual de la ETAP es el adecuado para este tipo de infraestructuras.



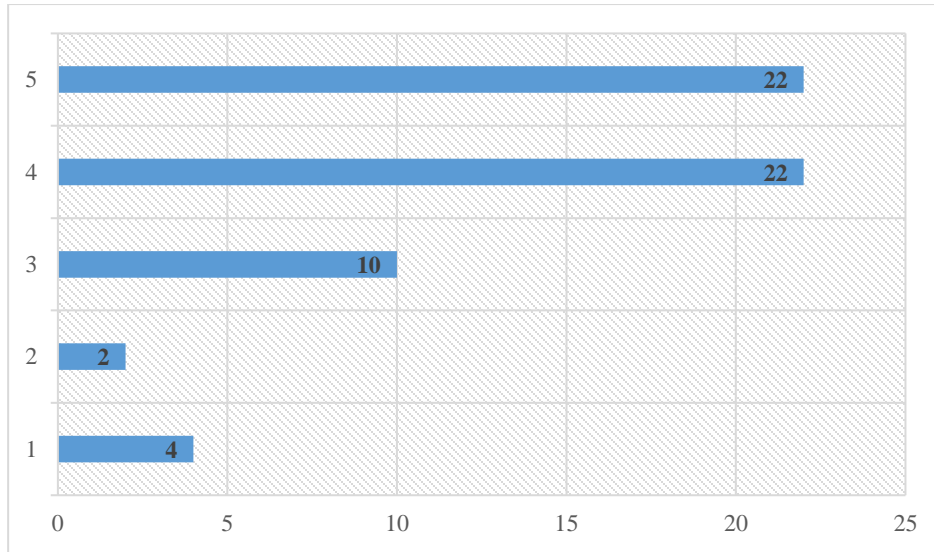
**Figura 45-A19. Grado de aceptabilidad del impacto visual de la ETAPCM**

En la Figura 46-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué grado de satisfacción existe con respecto a la cantidad del agua? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 32 respuestas (53.3%), así mismo con 10 respuestas (16.4%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 50 respuestas (83.3%) de los encuestados, quienes señalan que la cantidad del agua abastecida por la ETAPCM es la necesaria para cubrir con las necesidades diarias de los pobladores.



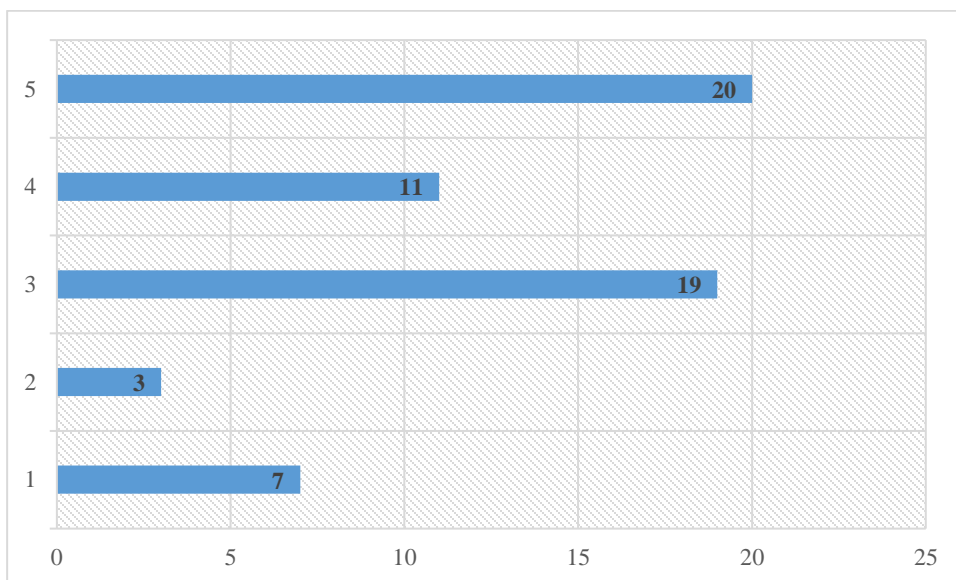
**Figura 46-A19. Grado de satisfacción con respecto a la cantidad de agua**

En la Figura 47-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué grado de satisfacción existe con respecto a la calidad del agua? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 22 respuestas (36.7%) y a muy satisfecho con 22 respuestas (36.7%), así mismo con 16 respuestas (26.7%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 44 respuestas (73.4%) de los encuestados, quienes señalan que la calidad del agua abastecida por la ETAP es la adecuada para cubrir con las necesidades de los pobladores.



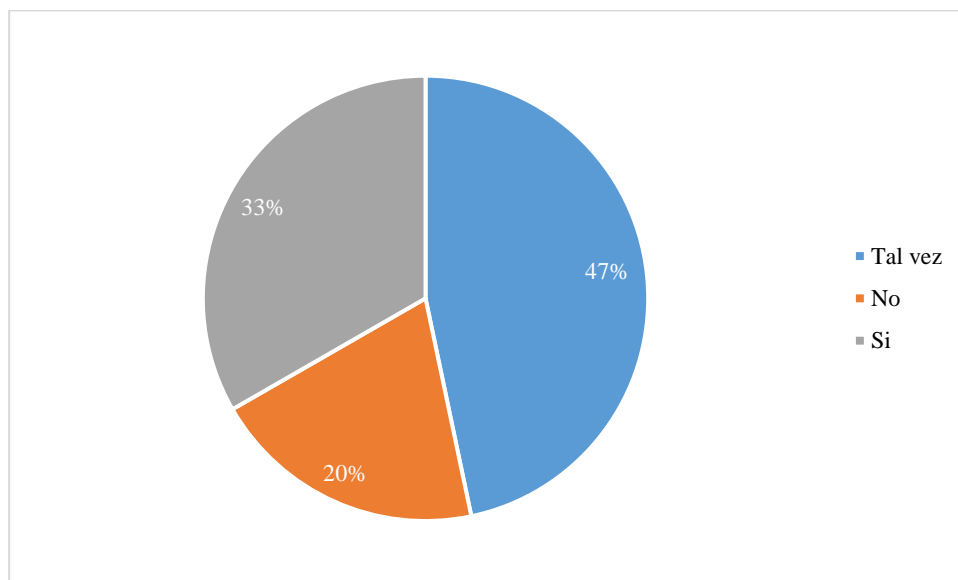
**Figura 47-A19. Grado de satisfacción con respecto a la calidad del agua**

En la Figura 48-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Considera que la relación calidad/ precio del agua es el adecuado? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 20 respuestas (33.3%), así mismo con 28 respuestas (48.4%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 31 respuestas (51.6%) de los encuestados, quienes señalan que la relación calidad/precio del agua abastecida por la ETAP es el adecuado.



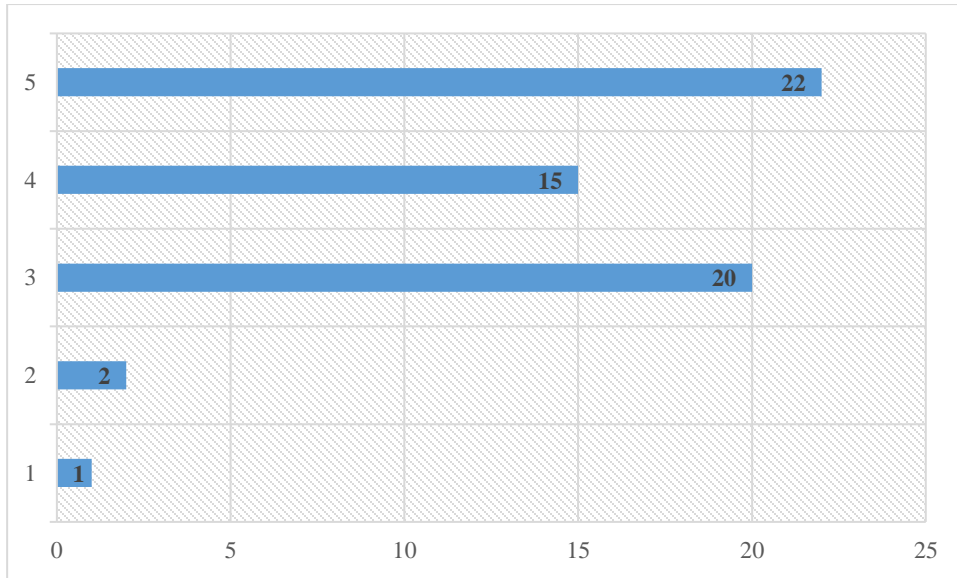
**Figura 48-A19. Relación calidad/ precio del agua potable**

En la Figura 49-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Estaría dispuesto a pagar más por el servicio, si mejorara la calidad del agua? El mayor número de respuestas corresponde a tal vez con 28 respuestas (47%), así mismo con 12 respuestas (20%) muestra no estar dispuestos a pagar más por el servicio en comparación con las 20 respuestas (33.3%) de los encuestados, quienes están dispuestos a pagar más por el servicio.



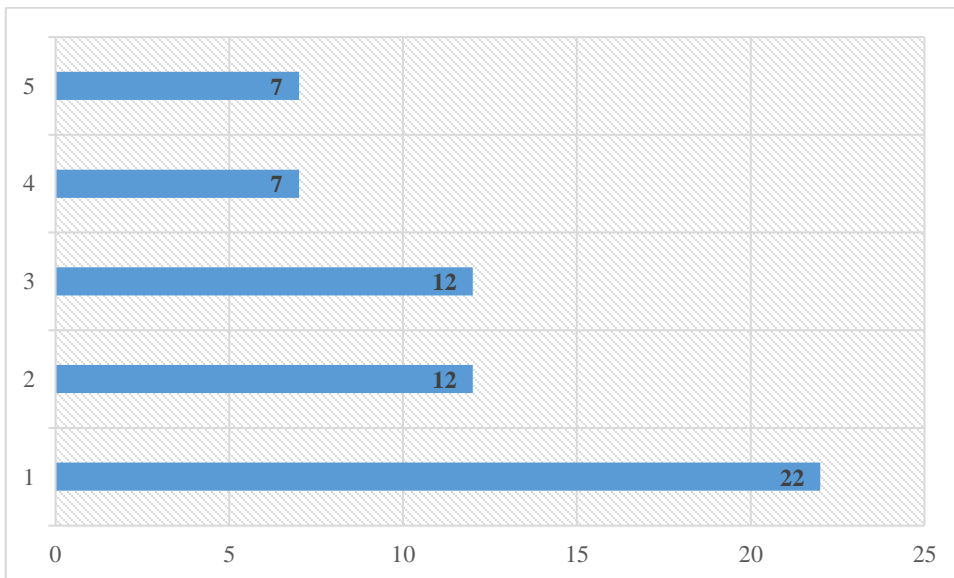
**Figura 49-A19. Consideración del pago del servicio**

En la Figura 50-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Qué tan satisfecho se encuentra sobre la estabilidad estructural de la ETAP? El mayor número de respuestas corresponde al grado de totalmente satisfecho con 22 respuestas (36.7%), así mismo con 23 respuestas (38.3%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 37 respuestas (61.7%) de los encuestados, quienes señalan encontrarse satisfechos sobre la estabilidad estructural de la ETAP.



**Figura 50-A19. Estabilidad estructural de la ETAP**

En la Figura 51-A19, se muestran los resultados obtenidos de la pregunta: ¿Con qué número se siente identificado sobre el conocimiento que posee sobre la ETAP? El mayor número de respuestas corresponde al grado de nada satisfecho con 22 respuestas (36.7%), así mismo con 46 respuestas (76.7%) muestra un grado de satisfacción menor en comparación de las 14 respuestas (23.4%) de los encuestados, quienes señalan el poco interés sobre la ETAP.



**Figura 51-A19. Conocimiento sobre la ETAP**

## REFERENCIAS

- Acorta, R. (2008). *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos*. . Argentina: Brujas.
- Akash, P., Chakraborty, P., & Das, N. (2024). Assessment of carbon footprint of potable water production: A case from Bangladesh. *Green Carbon*, 339-349.
- Alegre, H., Bautista, J., & Cabrera, J. (2016). Performance indicators for water supply services. *IWA publishing*, 15.
- Análisis y Evaluación mundiales del Saneamiento y el Agua Potable (GLAAS) de ONU-AGUA. (2022). *La encuesta de países GLAAS 2021-2022*. Ginebra: World Health Organization.
- ASA Y32.11. (1961). *Graphical Symbols for Process Flow Diagrams*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
- Audi en México. (17 de Octubre de 2022). *Audi en México*. Obtenido de <https://www.audi.com.mx/mx/web/es/audi-en-mexico.html>
- Austin, D. (1979). *Ingeniería química Símbolos de dibujo*. G. Godwin: Londres.
- Ayuntamiento municipal. (2021). *Plan de Desarrollo Municipal*. Puebla: Gobierno del Estado de Puebla.
- Banco Mundial. (07 de Noviembre de 2022). *Recursos de agua internos per cápita /metros cúbicos)- México*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.INTR.PC?end=2018&locations=MX&start=1962&view=chart>
- Bârjoveanu, G., Teodosiu, C., Gîlcă, A.-F., Roman, I., & Fiore, S. (2019). Environmental Performance Evaluation of a Drinking Water Treatment: A Life Cycle Assessment Perspective. *Environmental Engineering and Management Journal*, 513-522.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2015). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México: Diario Oficial de la Federación.

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). *Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2022). *Ley de Aguas Nacionales*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Carballo Penela, A., García Negro, M., & Doménech Quesada, J. (2008). La huella ecológica corporativa: concepto y aplicación a dos empresas pesqueras de Galicia. *Revista Galega de Economía*, 1-29.
- Carlson, E. C. (1996). Don't gamble with physical properties for simulations. *Progreso de la ingeniería química*, 35-46.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2014). *El Derecho Humano al Agua potable y Saneamiento*. México: Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Comisión Nacional del Agua. (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Comisionado Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2022). *NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. México: Diario Oficial de la Federación.
- CONAGUA. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Evaluación rápida de plantas potabilizadoras*. México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2020). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación Diciembre 2020*. México: CONAGUA.
- CONAGUA. (09 de Noviembre de 2022). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- CONAGUA. (2022). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación Diciembre 2021*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Cossio, C., Norrman, J., McConville, J., Mercado, A., & Rauch, S. (2020). Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-11.
- Cruz, E. (17 de Octubre de 2022). *Expansión política*. Obtenido de <https://politica.expansion.mx/estados/2019/08/22/ciudad-modelo-audi-el-legado-de-moreno-valle-que-barbosa-quiere-borrar>
- Diario Oficial de la Federación. (09 de Noviembre de 2022). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5657697&fecha=12/07/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5657697&fecha=12/07/2022#gsc.tab=0).
- Doménech, J. L. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. España: Aenorediciones.
- E.B., C. (2003). *Enfermedades transmitidas a través de las aguas*. Tribunal Centroamericano del Agua.
- El mañana. (09 de Noviembre de 2022). *El mañana el periódico que va con el pueblo*. Obtenido de <https://elmanana.com.mx/nuevo-laredo/2022/11/7/corte-de-agua-suspenderan-servicio-en-108-colonias-este-de-noviembre-86457.html>
- Elejabarrieta, F., & Iñiguez, L. (2008). Construcción de escalas de actitud, tipo Thurstone y Likert. *La sociología en sus escenarios*, 17.
- Enciso, A., & Dávila, I. (29 de Abril de 2022). *Grandes zonas metropolitanas sufren por sequía y escasez*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/03/29/politica/grandes-zonas-metropolitanas-sufren-por-sequia-y-escasez/>
- García, R. (1986). Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. *Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos*, 381-409.

- García, R. (2011). Interdisciplinaria y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de metodología de las ciencias Sociales*, 66-101.
- Gijón, A. C. (2003). Problemas ambientales y educación ambiental en la escuela. . *Reflexiones sobre educación ambiental II*, 91.
- González- Díaz, Y., Rodríguez- García, A., & Matos-Domínguez, Y. (2021). Cálculo de la huella ecológica corporativa en la molinera "Frank Pais Garcia". *Tecnología química*, 5-21.
- Griffiths-Sattenspiel, B., & Wilson, W. (2009). The carbon footprint of water. *River Network*, 1-35.
- Gro Harlem Brundtland. (1987). *Nuestro futuro en común*. Oxford University Press: Naciones Unidas.
- Grupta, R., Lee, S., & Lui, J. (2024). Carbon footprint assessment of water and wastewater treatment works in Scottish islands . *Journal of Cleaner Production* , 141650.
- Gutiérrez Rojas, H. (2016). *Estrategias de muestreo: diseño de encuestas y estimación de parámetros*. Colombia: Ediciones de la U.
- HANNA instruments. (s.f.). *Fotómetro multiparamétrico con DQO*. USA: HANNA.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & del Pilar Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Howe, K., Hand, D., & Crittenden, J. (2012). *Principios de tratamiento del agua*. México: CENGAGE.
- IDOM. (10 de Noviembre de 2022). *IDOM*. Obtenido de <https://www.idom.com/proyecto/ciudad-modelo-para-un-crecimiento-planificado/>
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal* . México: INEGI.
- INEGI. (05 de Mayo de 2020). *INEGI*. Obtenido de [https://www.inegi.org.mx/servicios/widgets\\_poblacion.html#:~:text=En%20la%20secci%C3%B3n%20de%20C2%BFCu%3%A1ntos%20habitantes,poblaci%C3](https://www.inegi.org.mx/servicios/widgets_poblacion.html#:~:text=En%20la%20secci%C3%B3n%20de%20C2%BFCu%3%A1ntos%20habitantes,poblaci%C3)

%B3n%20para%20presentar%20su%20informaci%C3%B3n.&text=Zacatecas-  
,En%20la%20pantalla%20se%20visualiza%20el%20total%20de%

INEGI. (07 de Noviembre de 2022). *Agua potable y drenaje*. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>

INEGI. (28 de Febrero de 2024). *Programas de información*. Obtenido de Subsistema de información demográfica y social: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#microdatos>

Juárez Galindo, I. (2022). *El difícil y escabroso camino de los sistemas operadores*. México: ANEAS.

J. Howe, K., W. Hand, D., C. Crittenden, J., Trussell, R., & Tchobanoglous, G. (2012). *Principios de tratamiento del agua*. México: CENGAGE.

Leal- Gutiérrez, M. J., Bernal-González, M., & Durán- Domínguez- de -Bazúa, M. (2022). Exergy analysis of a laboratory-scale upflow anaerobic sludge blanket. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 273-287.

Llaven Anzures, Y. (24 de Febrero de 2022). *Puebla, entre las primeras ciudades del país que se quedarían sin agua, alertan legisladores*. Obtenido de <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/puebla-primeras-ciudades-pais-sin-agua-alertan-legisladores/>

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (2016). *Desinfección para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. México: Comisión Nacional del Agua.

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (2016). *Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México: Comisión Nacional del Agua.

Manuel Canales Cerón. (2006). *Metodologías de investigación social*. Santiago de Chile: LOM Ediciones.

Meneses, J., & Rodríguez, D. (2011). *El cuestionario y la entrevista*. España: Universidad Oberta de Catalunya.

- Miguel Barbosa Huerta. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024*. Puebla: Gobierno de Puebla.
- Monfreda, C., Wackeragel, M., & Deumling, D. (2004). Establecer cuentas nacionales de capital natural basadas en evaluaciones detalladas de la huella ecológica y la capacidad biológica. *Política de uso de la tierra*, 231-246.
- Naciones Unidas. (2010). *Resolución aprobada por la Asamblea General*. New York: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2013). *UN-Water*. Suiza: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Santiago: Publicaciones de las Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (20 de Septiembre de 2022). *Objetivos de desarrollo sostenible* . Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Ochoo, B., Valcour, J., & Sarkar, A. (2017). Association between perceptions of public drinking water quality and actual drinking water quality: A community-based exploratory study in Newfoundland (Canada). *Environmental Research*, 435-443.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Ortega Márquez, M., & Márquez Fernández, O. (2017). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública* , 41-59.
- Ortiz Moreno, J., Malagón García, S., & Masera Cerutti, O. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el sur global. *Interdisciplina*, 193-214.
- Prayoga, R., Nastiti, A., & Schindler, S. (2021). Perceptions of Drinking Water Service of the ‘Off-Grid’ Community in Cimahi, Indonesia. *Water*, 1398.
- Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (2001). *NORMA Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano*,

*distribuida por sistemas de abastecimiento público.* México: Diario Oficial de la Federación.

Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (2005). *NORMA Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muest.* México: Diario Oficial de la Federación.

Programa Nacional de Vivienda 2014-2018. (2014). *Programa Nacional de Vivienda 2014-2018.* México: Diario Oficial.

Rolland, L., & Vega Cárdenas, Y. (2010). La gestión del agua en México. *POLIS*, 155-188.

Salud sin Daño y el PNUD. (2020). *Sustancias Químicas preocupantes en el Sector de la Salud.* Berlín: Salud sin Daño.

Secretaría de Gobernación. (2019). *Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla.* Puebla: Gobierno del Estado de Puebla.

Secretaría de Gobernación. (2019). *Ley del Agua para el Estado de Puebla.* Puebla: Gobierno del Estado de Puebla.

Secretaría de Gobernación. (2019). *Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de Puebla.* Puebla: Gobierno de Puebla.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Estadísticas del Agua en México 2019.* México: Comisión Nacional del Agua.

Secretaría de Planeación y Finanzas Gobierno de Puebla. (2022). *Estructura de Diagnóstico del Programa Presupuestario (PP).* Puebla: Gobierno de Puebla.

Secretaría de Salud. (03 de Noviembre de 2022). *NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.* México : Diario Oficial de la Federación.

- SEMARNAT. (07 de Noviembre de 2022). *Atlas Digital Geográfico*. Obtenido de <http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua.html>
- SINA. (07 de Noviembre de 2022). *Agua renovable*. Obtenido de <https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=2#:~:text=Agua%20renovable,se%20les%20considera%20no%20renovables>.
- Sinnott, R. (1983). *Ingeniería química: Una introducción al diseño de ingeniería química*. U.K.: Pergamon Press.
- Sinnott, R., & Towler, G. (2019). *Diseño en ingeniería química: Serie Ingeniería Química*. Barcelona: Rverté.
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (1996). *Fundamentos de química analítica*. México: THOMSON.
- Tapella, E. (2007). El mapeo de actores clave. *Universidad Nacional de Cordoba*, 1-18.
- The New York Times. (09 de Noviembre de 2022). *The New York Times*. Obtenido de <https://www.nytimes.com/es/2022/08/03/espanol/mexico-monterrey-agua-sequia.html>
- Tiwari, K., Goyal, R., Sarkar, A., & Munoth, P. (2015). Integrated water resources management with special reference to water security in Rajasthan, India. *Discovery*, 93-101.
- Turton, R. B. (2008). *Análisis, síntesis y diseño de procesos químicos*. Boston: Pernon.
- Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la Red del Agua UNAM. (2022). *Perspectivas del agua en México propuestas hacia la seguridad hídrica*. México: Agua UNAM.
- Valverde Obando, L. (1993). El diario de campo. *Revista de trabajo social*, 308-319.
- Walas, S. (2012). *Chemical Process Equipment: selection and design*. Kansas: Butterworth- Heinemann.

Wescoat Jr, J., R. Murty, J., Singh, R., & Verma, P. (2022). A sustainability Planning Framework and Methods for Rural Drinking Water in Satara District, Maharashtra, India. *Frontiers in Water*.

World Health Organization and UNICEF . (2014). *Progress on drinking water and sanitation*. Suiza: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.